

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

**Vplyv vlhkosti a rýchlosti zaťažovania vzorku zeminy pri edometrickej
skúške stlačiteľnosti**

**The Influence of Moisture and speed Loading of Soil Sample during
Oedometer Test**

Študent : Dominik Majtán

Vedúci bakalárskej práce: Ing. Marek Mohyla, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Zadání bakalářské práce

Student: **Dominik Majtán**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3647R017 Geotechnika
Téma: **Vliv vlhkosti a rychlosti zatěžování vzorku zeminy při edometrické zkoušce stlačitelnosti**
The Influence of Moisture and Speed Loading of Soil Sample during Oedometer Test
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Úvod;

Teorie konsolidace;

Odběr a příprava vzorku, popis vzorku neporušeného a rekonstituovaného;

Popis realizace laboratorního experimentu;

Výsledky laboratorního experimentu;

Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

ATKINSON, John. *An introduction to the mechanics of soils and foundations*. New York: McGraw-Hill International (UK) Limited, 1993. ISBN 0-07-707713-X.

SARSBY R. *Environmental geotechnics*. London: Thomas Telford Ltd, 2000. ISBN 0-7277-2752-4.

HULLA J., TURČEK P. *Zakládání staveb*. Bratislava: Jaga Group, v.o.s., 2005. ISBN 80-8076-023-3.

ŠIMEK J., JESENÁK J., EICHLER J., VANÍČEK I. *Mechanika zemin*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-03-00428-4.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marek Mohyla, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2017

Datum odevzdání: 04.05.2018

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som celú bakalársku prácu vypracoval samostatne, vrátane príloh, pod dozorom vedúceho bakalárskej práce a všetky použité podklady, taktiež literatúra boli uvedené na konci tejto práce.

V Ostrave dňa

.....

podpis študenta

Prehlasujem :

- bol som oboznámený s tým, že na moju bakalársku prácu sa vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, hlavne paragraf § 35 – použitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a použitia školského diela, a paragraf § 60 – školské dielo;
- beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (VŠB – TUO) má právo použiť bakalársku prácu k svojej vnútornej potrebe, nezaplatenej činnosti (§35 odst. 3);
- súhlasím s tým, že bakalárska práca bude archivovaná v elektronickej forme, v databázy Ústrednej knižnici VŠB – TUO a jedna vytlačená forma bude uložená u vedúceho bakalárskej práce. Súhlasím s tým, že údaje o bakalárskej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB – TUO;
- bolo dohodnuté, že VŠB – TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzavrie licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bolo dohodnuté, že použiť svoje dielo – bakalársku prácu, alebo poskytnúť licenciu k jej použitiu, môžu len so súhlasom VŠB – TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli vynaložené VŠB – TUO na vytvorenie diela (až do ich skutočnej výšky);
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej bakalárskej práce, súhlasím s jej zverejnením podľa zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (Zákon o vysokých školách) bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave dňa

.....

podpis študenta

Pod'akovanie

Touto cestou by som chcel pod'akovať môjmu vedúcemu bakalárskej práce, Ing. Marekovi Mohylovi, Ph. D., za cenné rady, pripomienky, odborné vedenie a za jeho venovaný čas, čo bolo pre mňa prínosom, pri vypracovaní mojej bakalárskej práce.

Abstrakt

Úlohou bakalárskej práce bolo kvantifikovať vplyv vlhkosti vzorku a rýchlosti jeho zaťažovania na jeho pretvárne parametre (Eoed). Pred samotným oedometrickým experimentom prebehli ďalšie laboratórne skúšky pre zatriedenie zeminy a zistenia jej opisných fyzikálnych a mechanických vlastností. Prvá časť bakalárskej práce obsahuje všeobecnú teóriu konsolidácie a stlačiteľnosti, opis rekonštituovaného vzorku zeminy, a postupy vykonaných laboratórnych skúšok na danom skúšanom vzorku. V druhej časti sú zahrnuté výsledky z daných laboratórnych skúšok a ich vyhodnotenie za účelom zistenia vplyvu spomínaných faktorov.

Kľúčové slová : oedometrické skúšky, konsolidácia, stlačiteľnosť, rekonštituovaná vzorka, laboratórne skúšky, vplyv vlhkosti a rýchlosti zaťažovania, fyzikálne a mechanické vlastnosti

Abstract

The main objective of bachelor thesis was to make oedometer test of compressibility, also factors like moisture and speed loading, and find out if all of these factors have some effect on special type of soil. Before this oedometer experiment, I did more laboratory exams for dividing the types of soil and to find out their of the bachelor thesis contains general theory, consistency and compressibility, description of reconstituted sample of soil and procedures of laboratory exams and experiments on specific tested sample. The second part of bachelor thesis contains all results from the laboratory experiments and their evaluations with the purpose to find out the effect of moisture and speed loading, physical and mechanical attributes.

Key words : oedometer test, consolidation, compressibility, reconstituted sample, laboratory experiments, physical and mechanical attributes, the influence of moisture and speed loading

Obsah

Zoznam použitých symbolov a značiek	9
1. Úvod	11
2. Teória konsolidácie.....	12
2.1 Stlačiteľnosť zeminy.....	12
2.1.1 Určovanie stlačiteľnosti v oedometri	12
2.1.2 Modul stlačiteľnosti	13
2.1.3 Oedometrický modul pretvárnosti.....	15
2.1.4 Koeficienty stlačiteľnosti	15
2.1.5 Poissonova konštanta zemín	17
2.1.6 Rovnica stlačiteľnosti.....	18
2.1.7 Časový priebeh deformácií.....	20
2.1.8 Hľadiská ovplyvňujúce určenie stlačiteľnosti zeminy	20
2.2 Konsolidácia	24
2.2.1 Definícia.....	24
2.2.2 Predpoklady konsolidačnej teórie – Terzaghi	26
2.2.3 Koeficient konsolidácie.....	27
2.2.4 Časový priebeh konsolidácie zemín.....	28
2.2.5 Stupeň konsolidácie.....	30
2.2.6 Trojrozmerná konsolidácia.....	36
2.2.7 Vplyv teploty a iných faktorov na konsolidáciu	37
2.2.8 Chovanie vzduchu v póroch zeminy pri konsolidácii	38
3. Popis prípravy vzorku zeminy.....	39
3.1 Odber vzorky	39
3.2 Príprava vzorky.....	39
3.3 Popis neporušeného vzorky	39
3.4 Popis rekonštituovanej vzorky	40
4. Postup laboratórnych experimentov	40
4.1 Mokrú presievacia skúška	41
4.2 Zrnitostná hustomerná skúška	42

4.3 Stanovenie mernej hmotnosti – pyktometrická skúška.....	43
4.4 Stanovenie medzi tekutosti – Vasiliev	44
4.5 Stanovenie medzi plasticity	45
4.6 Edometrická skúška stlačiteľnosti	46
5. Výsledky laboratórnych experimentov.....	48
6. Záver.....	55
7. Zoznam použitých zdrojov	56
8. Zoznam použitých obrázkov, tabuliek a grafov	57
9. Prílohy	58

Zoznam použitých symbolov a značiek

M	modul stlačiteľnosti
F	сила od zaťaženia na vzorku zeminy
C	súčiniteľ stlačiteľnosti
C_T	teplotný súčiniteľ stlačiteľnosti
C_c	index kompresie
C_s	index bopťnania
S_r	stupeň nasýtenia
T_v	časový faktor
U	stupeň konsolidácie
m	Poissonova konštanta
q	postranné napätie
w	je vlhkosť zeminy
e	číslo pórovitosti
k	koefficient priepustnosti
g	zrýchlenie spôsobené gravitáciou
a	množstvo plynu
d_1, d_2	priemery valcov
a_v	koefficient stlačiteľnosti
m_v	koefficient stlačiteľnosti objemu
c_v	koefficient konsolidácie
u_w	neutrálne napätie
u	hydrostatický tlak vody v póroch
h	hrúbka vrstvy zeminy, výška vzorku
s	stlačenie vzorku
p	konsolidačné napätie
$\bar{\sigma}$	vodorovné a zvislé napätia
ε	pomerná deformácia
μ	Poissonovo číslo
E_{oed}	oedometrický modul pretvárnosti
σ_{ef}	efektívne napätie

δe	zmena pomeru pórov
δp	zmena tlaku
e_2, e_1	pomery pórov na začiatku a konci konsolidácie pre určitý prírastok zaťaženia
ε_1	zvislá deformácia
ε_2	vodorovná deformácia
σ_1	zvislé napätie
σ_2	vodorovné napätie
w_L	vlhkosť na medzi tekutosti
w_P	vlhkosť na medzi plasticity
H	dynamická viskozita
ρ_s	hustota pevných častíc
ρ_w	hmotnosť vody

1. Úvod

Témou bakalárskej práce je definícia a kvantifikácia vplyvu vlhkosti a rýchlosti zaťažovania vzorku zeminy pri oedometrickej skúške stlačiteľnosti. Jedná sa o skúšku, pri ktorej zisťujeme stlačiteľnosť a deformácie danej vzorky zeminy, pri určitom zaťažení od externých faktorov.

Predmetom práce je prevedenie a porovnanie skúšok stlačiteľnosti na rôznych vzorkách zeminy, ktoré boli neporušené pri odobratí z danej hĺbky a miesta odberu. Táto skúška podáva informácie ohľadom stlačiteľnosti a deformácií zeminy, ktoré sú následne využívané v praxi pri navrhovaní konštrukcií, v danom objekte odoberu zeminy. Hlavnou úlohou práce je porovnať skúšky vykonané na rekonštituovanom vzorku, pri rôznych vlhkosťných pomeroch a rýchlosti zaťaženia zeminy.

Práca sa skladá z teoretickej a praktickej časti. Teoretická časť je zameraná na definíciu konsolidácie, stlačiteľnosti a deformácií zeminy pri zakladaní stavieb. Ďalším predmetom teoretickej časti je presný opis laboratórnych experimentov na zemine a to zatriedenie zeminy pomocou mokrej presievacej skúšky, stanovenia medze tekutosti – kuželová skúška, stanovenie medze plasticity, hustomerná skúška a nakoniec samotná oedometrická skúška stlačiteľnosti. Druhá, praktická časť, obsahuje samotné laboratórne skúšky a výsledky, ktoré boli dosiahnuté. Tieto skúšky slúžia pre zatriedenie zeminy, získanie informácií o chovaní sa zeminy pri určitom externom zaťažení a popisné vlastnosti zeminy. Pri zatriedení a skúškach zeminy bol postup realizovaný podľa platných noriem : ČSN EN ISO 19892-1, ČSN EN ISO 17892-3, ČSN ISO 17892-4, ČSN EN ISO 17892-5, ČSN ISO 17892-6, EN ISO 14 688, ČSN 73 1001 (neplatná norma).

Bakalárska práca sa záverom zameriava na porovnanie zistených hodnôt oedometrického modulu pretvárnosti a súčiniteľa stlačiteľnosti, na základe rozdelenia oedometrických skúšok do dvoch typov : štandardná, zrýchlená. Tieto typy skúšok, boli prevedené na troch vlhkosťných skupinách zeminy za účelom definície spomínaných vplyvov, ktoré boli následne definované grafmi a teoretickým opisom vychádzajúcich hodnôt.

2. Teória konsolidácie

2.1 Stlačiteľnosť zeminy

K výpočtu deformácií základovej pôdy pod výstavbou konštrukcií je potreba vyhodnotenia napätia, ktoré bude vyvolané v základovej pôde od zaťaženia konštrukcie. Ďalej je potreba poznať stlačiteľnosť zeminy, ktorá sa určuje priamym spôsobom na odobratých neporušených vzorkách zeminy. Pretvárne parametre zeminy sa stanovujú laboratórne, pomocou oedometrickej skúšky.

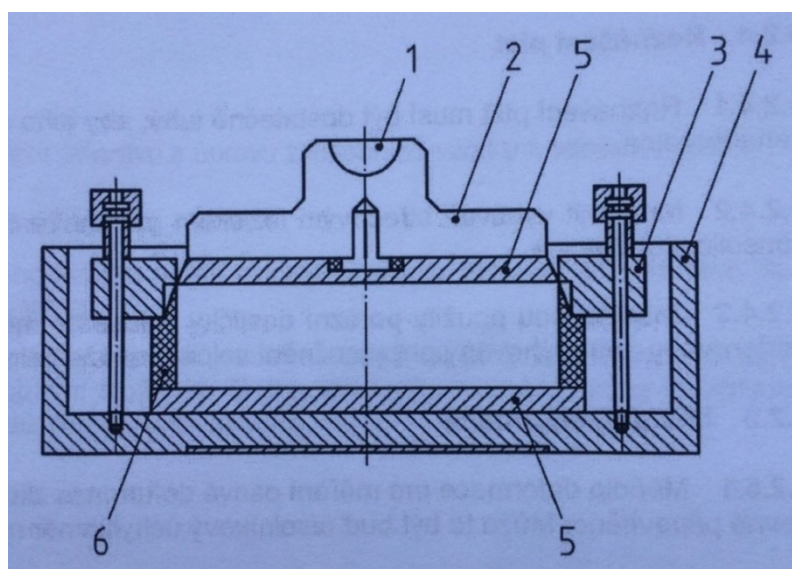
2.1.1 Určovanie stlačiteľnosti v oedometri

Zo základovej pôdy sú odobraté vzorky zeminy z jednotlivých vrstiev skladby a pomocou oedometrickej skúšky je určená ich stlačiteľnosť. Vzorka zeminy v prístroji, je ohraničená kovovým prstencom, ktorý zamedzí vodorovnej deformácii. Z vrchnej a spodnej časti, je vzorka obklopená priepustnými poréznymi doštičkami, ktoré slúžia svojou priepustnosťou na odtok vody zo vzorku. Pomocou zaťažovacieho ramena a závaží, sa prenáša sila na plochu ochranného poklopu poréznych doštičiek, čím vyvoláme deformáciu zeminy v prístroji. Pri tejto deformácii, vzniká takzvaná konsolidácia. Prvý zaťažovací stupeň, pri rekonštituovanom vzorku, je zvolený podľa napätia v hĺbke odobratia zeminy. Týmto zaťažovacím stupňom sa zabráni zväčšovanie objemu vzorku. Napätie pôsobiace na vzorku zeminy zväčšujeme po dobe, 24 hodín, od zaťaženia. Podľa normy CEN ISO/TS 17892-5 je táto doba dostačujúca, aby sa vzorka zeminy uložená v oedometrickom prstenci ďalej nekonsolidovala. Kratšie alebo dlhšie časové intervaly môžu byť použité na základe typu skúšanej zeminy. V tomto prípade, musia byť všetky trvania, zaťažovacích stupňov, zaznamenané. Pri niektorých skúškach sa vykonáva vyšetrenie trvalej deformácie, pričom vzorku zeminy na konci cyklu zaťažovania je potrebné odľahčovať a následne opäť zaťažovať.

Pri skúškach, ktoré trvajú niekoľko dní, treba zachovať pôvodnú vlhkosť vzorku. Vzorka zeminy stráca pri priebehu skúšky svoju vlhkosť a preto je nutné pridávať do prístroja určité množstvo vody, ktorá je rozptýlená do celého vzorku časovým odstupom. Pri tomto postupe, však môže dochádzať ku javom ako je napríklad boptnanie čo spôsobuje zväčšovanie objemu, alebo zmena chemického zloženia zeminy. Do prístroja je preto pridávaná

destilovaná voda, z dôvodu zloženia, preto by bolo vhodné používať prístroj, ktorý udrží vzorku zeminy v pôvodnej vlhkosti počas celej skúšky.

Priebeh celej skúšky je evidovaný do protokolu, ktorý obsahuje taktiež miesto odkiaľ bola zemina odobratá, číslo sondy, hĺbka odobratia a číslo vzorku zeminy. Ďalej sú uvedené parametre uloženej zeminy do prstenca a to plocha na ktorú bude vyvolané zaťaženie, priemer vzorku a výška vzorku, hmotnosť vzorku pred skúškou a po skúške, vlhkosť na začiatku pokusu a taktiež jeho konci po vybratí z oedometrického prístroja. Najdôležitejšou časťou protokolu, sú zaznamenané hodnoty z meraní pri zaťažovaní a odľahčovaní zeminy.



- | | |
|---------------------|-------------------------------|
| 1. ložisko | 4. telo oedometrickej krabice |
| 2. roznášací piest | 5. filtračné dosky |
| 3. centrálny krúžok | 6. oedometrický prstenec |

Obrázok 1 - Schéma oedometrického prístroja. [4]

2.1.2 Modul stlačiteľnosti

Oedometrický prístroj zabráňuje vodorovným deformáciám vzorku zeminy v prstenci, čím sa stáva zo skúšky jednoosová deformácia. Týmto je vodorovná deformácia rovná 0 :

$$\varepsilon_h = \frac{1}{M} \left[\sigma_2 - \frac{1}{m} (\sigma_1 + \sigma_3) \right] = 0. \quad (1)$$

kde m je Poissonova konštanta

M je modul stlačiteľnosti

Pričom napätie $\sigma_3 = \sigma_2$ (obr. 5) v oedometri, bude ďalej $\sigma_2 - \frac{1}{m}(\sigma_1 + \sigma_2) = 0$ a podľa toho bude vodorovné napätie v oedometri $\sigma_2 = \frac{\sigma_1}{m-1}$. Predpokladáme že vodorovné napätie v oedometri, sa rovná tlaku v kľude. Uvedené **m** vo vzťahoch značí Poissonovú konštantu.

Zvislá pomerná deformácia je daná rovnicou :

$$\varepsilon = \frac{s}{h} = \frac{1}{M} \left[\sigma_1 - \frac{1}{m} (\sigma_2 + \sigma_3) \right]. \quad (2)$$

Konsolidačné napätie označujeme ako $\sigma_1 = p$, pričom pre $\sigma_3 = \sigma_2 = \frac{p}{m-1}$ určíme vzťah stlačenia vzorku zeminy v oedometrickom prístroji :

$$s = \frac{h}{M} \left[p - \frac{1}{m} \left(\frac{p}{m-1} + \frac{p}{m-1} \right) \right] = \frac{ph}{M} \frac{m^2 - m - 2}{m(m-1)} \quad (3)$$

V ďalšom prípade môžeme použiť Poissonovo číslo $\mu = \frac{1}{m}$ pre ktoré platí vzťah stlačenia :

$$s = \frac{ph}{M} * \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{1-\mu}. \quad (4)$$

kde M je modul stlačiteľnosti

Tabuľka 1- Modul stlačiteľnosti M [kp/cm²]. [8]

1.	Úlomkovité horniny, štrk, kamenistá drť, balvany 500–1000										
2.	Piesčité zeminy	$e=0,5$		$e=0,6$		$e=0,7$					
	Hrubý piesok	460		400		330					
	Jemný piesok	370		280		240					
	Prachovitý piesok	140		120		100					
3.	Piesčitá hlina	$e=0,4-0,5$		$e=0,5-0,6$		$e=0,6-0,7$		$e=0,7-0,8$			
		450 - 230		210 - 160		150		120			
4.	Hlina	$e=0,5-0,6$		$e=0,6-0,7$		$e=0,7-0,8$		$e=0,8-0,95$		$e=0,95-1,1$	
		390		330-180		190-130		130-100		90-80	
5.	Íl	$e=0,7-0,8$			$e=0,8-0,95$			$e=0,95-1$			
		280			240-160			140-110			
6.	Rašelina	40-20									

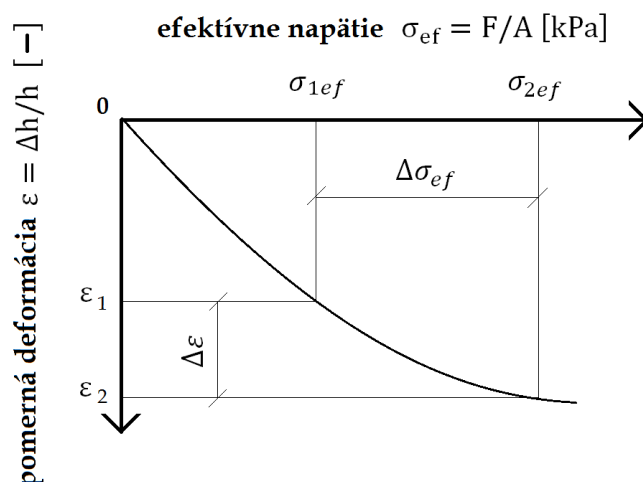
2.1.3 Oedometrický modul pretvárnosti

Pri jednoosej stlačiteľnosti, kde nedochádza k postranným deformáciám, určuje túto zmenu edometrický modul pretvárnosti E_{oed} . Pokým má napätie σ_{ef} (obr. 2) tendenciu narastať, zvyšuje sa taktiež hodnota modulu pretvárnosti. Pre jednotlivé intervaly zaťaženia sú vypočítané viaceré hodnoty E_{oed} , tým pádom musí byť určený rozsah napätia, pre ktoré boli moduly pretvárnosti vypočítané. Oedometrický modul pretvárnosti je zadaný vzťahom :

$$E_{oed} = \frac{\Delta\sigma_{ef}}{\Delta\varepsilon} \quad (5)$$

kde $\Delta\sigma_{ef}$ je rozdiel efektívnych napätí

$\Delta\varepsilon$ je rozdiel pomerných deformácií



Obrázok 2 - Oedometrický modul pretvárnosti

2.1.4 Koeficienty stlačiteľnosti

Koeficienty, ktoré sú odvodené z konsolidačných testov a označujú stlačiteľnosť pôdy. Tieto koeficienty je možné odhadnúť na základe výšky stlačenia v dôsledku primárnej konsolidácie.

- Koeficient stlačiteľnosti a_v
- Koeficient stlačiteľnosti objemu m_v
- Index kompresie C_c
- Index boptnania C_s

Prvý koeficient a_v je používaný zriedka. Druhý m_v je vypočítaný pre každý prírastok zaťaženia a výsledky sú uvedené ako súčasť výsledkov laboratórnych, konsolidačných experimentov. Tento koeficient sa všeobecne aplikuje na konsolidované hliny. Index kompresie C_c je odvodený z krivky $e - \log p$ (obr. 3), ale nepovažuje sa za súčasť laboratórneho testu a je určený pre konsolidované íly. Ďalším koeficientom je index bopťnania C_s , ktorý je určený pri zmene výšky vzorku po odťažení.

Koeficient stlačiteľnosti a_v je určený ako prírastok zaťaženia, ktoré sa rovná zmenám pomeru pórov pre tento prírastok, vydelený prírastkom tlaku. Zmena pomeru pórov δe a zmena tlaku δp sa vzťahujú na prírastkové zmeny. Vzťah pre tento koeficient je vyjadrený ako :

$$a_v = \frac{e_2 - e_1}{\delta p} = - \frac{\delta e}{\delta p} \quad (6)$$

kde e_2, e_1 sú pomery pórov na začiatku a konci konsolidácie pre prírastok zaťaženia

δp je zmena tlaku

δe je zmena pomeru pórov

Koeficient stlačiteľnosti objemu m_v je užitočnejší parameter ako koeficient stlačiteľnosti, z dôvodu určenia stlačiteľnosti na jednotku výšky vzorku. Tento koeficient je známy aj pod názvom Modul zmeny objemu a je definovaný vzorcom :

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_1} = \frac{1}{1 + e_1} \left(- \frac{\delta e}{\delta p} \right) \quad (7)$$

kde e_1 je pomer pórov na začiatku prírastku zaťaženia

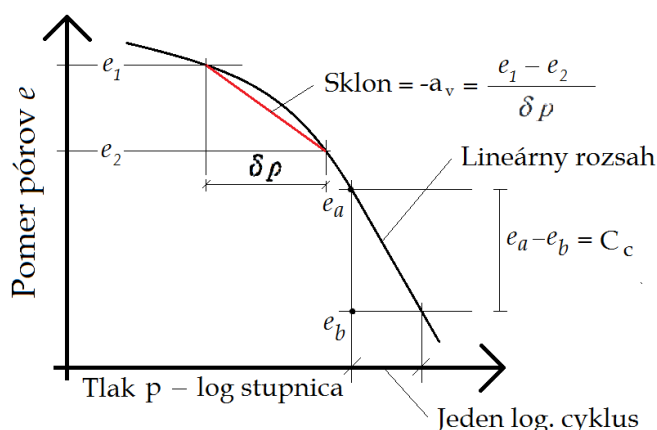
a_v je koeficient stlačiteľnosti

Zvyčajne je tento vzorec prenášobovaný hodnotou 1000 z dôvodu malých číselných hodnôt a potom je vzorec v tvare $m_v = \frac{1000}{1 + e_1} \left(- \frac{\delta e}{\delta p} \right) [m^2/MN]$. Hodnoty vypočítané ako m_v sú pre každý prírastok zaťaženia konsolidačného testu a sú zapísané ako výsledky laboratórneho experimentu.

Index kompresie C_c , je rovný sklonu konsolidačnej krivky poľa, vynesenej na logaritmickú mieru tlaku p v lineárnom rozsahu a je bezrozmerné číslo. Táto priama čiara je reprezentovaná vzťahom :

$$e = e_0 - C_c \log_{10} \frac{p_0 + \delta p}{p_0} \quad (8)$$

Index boptnania C_s sa rovná sklonu krivky nárastu výšky vzorku e vynesenej proti $\log p$. Jeho hodnota sa zvyšuje zväčšujúcim sa limitom kvapaliny.



Obrázok 3 - Krivka pomeru pórov (krivka e - $\log p$). [11]

2.1.5 Poissonova konštanta zemín

Pomocou triaxiálneho prístroja je možné určiť poissonovu konštantu. Pri určitom vodorovnom napätí je vzorka zeminy namáhaná zvislým napätím. Poissonovu konštantu m je možné vypočítať pomocou hodnôt zvislej deformácie a vodorovného rozťahnutia.

Pri zvislom napätí

$$\varepsilon_1 = \frac{\text{zvislá deformácia [cm]}}{\text{výška vzorku [cm]}}$$

Pri vodorovnom napätí

$$\varepsilon_2 = \frac{\text{vodorovné rozťahnutie [cm]}}{\text{priemer vzorku [cm]}}$$

Použitím vzťahov sa vypočíta Poissonovu konštantu m :

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{M} \left(\sigma_1 - \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{m} \right) \quad (9)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{M} \left(\sigma_1 - \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{m} \right) \quad (10)$$

Priemerné hodnoty Poissonovej konštanty, rôznych zemín, sú uvedené v nasledujúcej tabuľke (tab. 2) .

Tabuľka 2 - Hodnoty Poissonovej konštanty (súčiniteľu) zemín m [–]. [8]

Zemina	Štrk, balvany		Piesok	Prach, plastická piesčitá hlina		Mastný mäkkoplastický íl
	Pevný prach a íl		Jemný piesok, prachovitý piesok	Plastický íl		
m	10	5	4	3,3	2,8	2,5
μ	0,10	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40

2.1.6 Rovnica stlačiteľnosti

Z Grafu kde je vynesená krivka stlačiteľnosti, ktorá je závislá na čísle pórovitosti, a konsolidačnom napätí, môžeme odvodiť rovnicu stlačiteľnosti. Uhol β V krivke (obr. 4) bude vyjadrený pomocou vzorca:

$$\beta = \frac{e_1 - e_2}{\ln \sigma_2 - \ln \sigma_1} \quad (11)$$

kde e_1 je počiatkový stav

e_2 je číslo pórovitosti po zaťažení zeminy napätím σ

V praxi je využívané mesto $\ln \sigma$ iba označenie σ , z čoho dostávame rovnicu :

$$e_2 = e_1 - (\sigma_2 - \sigma_1) * tg\beta = e_1 - a * \sigma \quad (12)$$

kde a je číslo stlačiteľnosti (relatívny koeficient stlačiteľnosti)

Hodnoty tohto koeficientu sú určené pre rôzne zeminy ako napríklad, pri veľmi stlačiteľných zeminách je hodnota $a > 0,05 \text{ cm}^2/\text{kp}$, pri stredne stlačiteľných zeminách sa pohybuje táto hodnota $a = 0,01 - 0,05 \text{ cm}^2/\text{kp}$ a posledná hodnota platí pre málo stlačiteľné zeminy $a < 0,01 \text{ cm}^2/\text{kp}$.

Samotná rovnica stlačiteľnosti je uvedená ako vzťah :

$$s = \frac{a_a}{1+e_1} * h * \ln \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{h}{C} * 2,3 * \log \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \quad (13)$$

kde C je koeficient stlačiteľnosti (výškový)

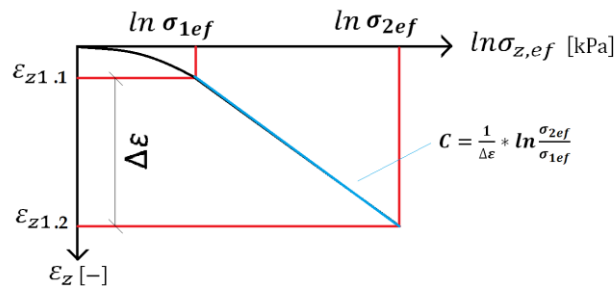
Týmto koeficientom je charakterizovaná stlačiteľnosť vrstiev, ktorý je následne určený v tabuľke pre rôzne typy zemín :

Tabuľka 3 - Hodnoty súčiniteľa stlačiteľnosti C [–]. [8]

Rašelina	3-7	Piesok so štrkom	Nad 250
Spraš	20-50	Štrk	Nad 300
hlina	15-25	Íly	30-120
Piesok	150-250	Tuhý neogenný slín	90-100
Jemný piesok ílovitý	60-120		

Znázornenie v semilogaritmickej miere vzťah medzi pomerným stlačením a efektívnym napätím má tento vzťah podobu priamky. Za charakteristiku deformačných vlastností zeminy sa považuje sklon tejto priamky, pri jednoosej deformácii vzorku. Tento sklon priamky je definovaný ako súčiniteľ stlačiteľnosti C a platí vzťah :

$$C = \frac{1}{\Delta \varepsilon} * \ln \frac{\sigma_{2ef}}{\sigma_{1ef}} \quad (14)$$



$\ln \sigma_{1ef}$ – Logaritmus počiatočného efektívneho napätia zeminy v oedometri

$\ln \sigma_{2ef}$ – Logaritmus konečného efektívneho napätia zeminy v oedometri

Obrázok 4 – Určenie súčiniteľa stlačiteľnosti C

2.1.7 Časový priebeh deformácií

Pri vykonávaní oedometrickej skúšky, sa odčítava deformácia vzorku pri každom zaťažovacom stupni v určitých časových intervaloch, ktoré sú nasledovne 0, 10,20, 30, 40, 50s; 1, 2, 4, 8, 15, 30 min; 1, 2, 4, 8, 24h. Zo zaznamenaných hodnôt je možné vytvoriť krivku časového priebehu deformácie. Z nej sa vie stanoviť predbežné sadanie pôdy pod budúcimi stavbami.

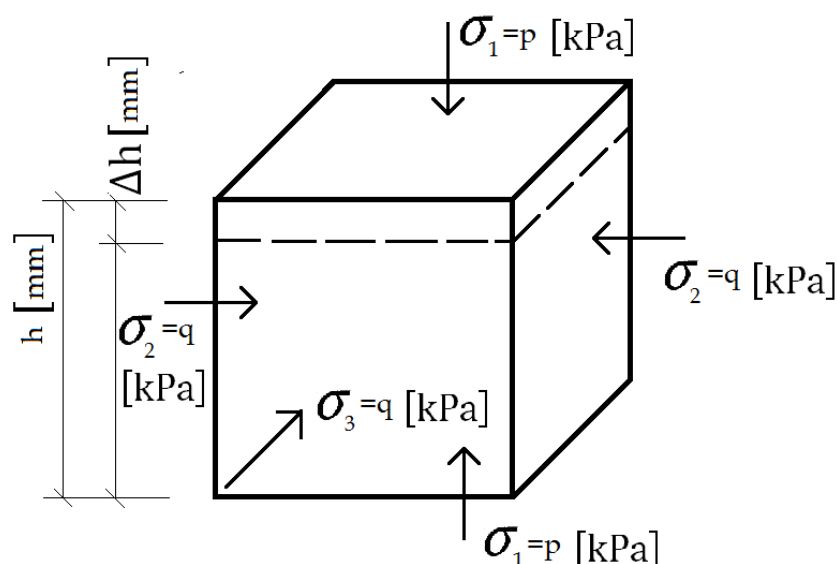
2.1.8 Hľadiská ovplyvňujúce určenie stlačiteľnosti zeminy

Stlačiteľnosť zeminy sa vykonáva v oedometrickom prístroji na neporušených vzorkách. Pri odoberaní vzorky, z úložnej hĺbky vrstvy sú používané tenkostenné odberné valce. Pri tomto postupe môže dôjsť ku porušeniu vzorku, čím sa následne zväčší stlačiteľnosť. Odoberanie neporušených vzoriek zeminy, je vykonávané pomocou tenkostenných odberných valcov, kde treba dbať na to, aby steny boli čo najtenšie a taktiež, aby brity odberných prístrojov boli dostatočne voľné. Priemer prstenca je o niečo väčší ako valce britov, aby sa trenie medzi zeminou a celou sadou prístroja zmenšilo. Zatlačovanie valca do pôdy, v mieste odberu, musí byť plynulé, pri čom sa musí vyvarovať zatlačovaniu pomocou úderov alebo ďalšími metódami, ktoré by mohli porušiť vrstvy zeminy.

Trením medzi zeminou a prstencami pri oedometrickej skúške sa teoreticky venoval Balla (1953-1959) z budapeštskej techniky. Jeho praktické skúšky ukázali, že trenie na stenách prstenca ovplyvňuje stlačiteľnosť tak, že čím väčší je pomer medzi priemerom a výškou vzorku, tým je menší vplyv trenia.

Balla taktiež zisťoval či má povrch vzorku vplyv na stlačiteľnosť zeminy. Pri jeho skúškach sa ukázalo, že čím je vzorka zeminy nižšia, tým má nerovnosť povrchu vzorku väčší vplyv na stlačiteľnosť. Obidva tieto vplyvy sú diametrálne odlišné a tým sa častejšie vylučujú.

Pri oedometrickej skúške pôsobí zvislé napätie $\sigma_1 = p$ a tým pádom je vzorka konsolidovaná jednoosovo. Vodorovné napätie $\sigma_2 = q$ je vypočítané z pomernej deformácie a keďže prstenec oedometra zabráňuje vodorovným deformáciám môže sa toto napätie rovnať nule. Predpokladáme, že vodorovné napätie v oedometri sa rovná kludovému tlaku, avšak zemina uzavretá nestlačiteľným prstencom vytvára v skutočnosti napätie väčšie ako je tlak v klude.



Obrázok 5 - Deformácia vzorky zeminy. [8]

Ak je vyvolané napätie σ_1 rovné konsolidačnému napätiu p , deformácie vzorku zeminy, tak platia vzťahy podľa teórie pružnosti :

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E} [\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3)] = \frac{1}{E} (p - 2\mu q) \quad (15)$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \frac{1}{E} [\sigma_2 - \mu(\sigma_1 + \sigma_3)] = \frac{1}{E} [(1 - \mu)q - \mu p] \quad (16)$$

kde q napätie po stranách vzorku

μ Poissonovo číslo

E modul pružnosti

Keďže nie je pri oedometrickej skúške možná vodorovná deformácia, môžeme druhú rovnicu (16) rovnať nule $\frac{1}{E}[(1 - \mu)q - \mu p] = 0$. Z tejto rovnice dostaneme vzťah :

$$q = \frac{\mu}{1-\mu}p = \xi p \quad (17)$$

kde ξ vyjadrenie vzťahu medzi postranným napätím q a zvislým napätím p

Ak poznáme hodnotu q (postranného napätia) vyvolané napätím p môžeme použiť rovnice : $\xi = \frac{q}{p}$; $\mu = \frac{\xi}{1+\xi}$.

Podľa koeficientov μ, ξ, β sú zeminy charakterizované v (tab. 4) :

Tabuľka 4 - Charakteristika zemín koeficientami $\mu; \beta; \xi$. [8]

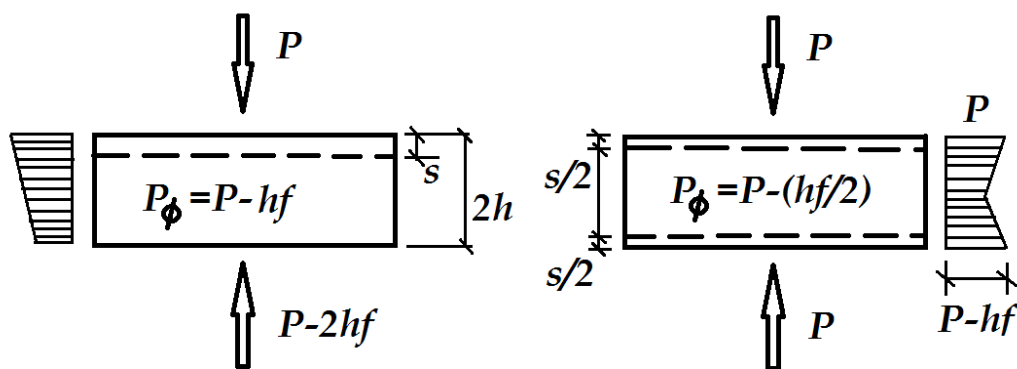
	μ	β	ξ
Piesok	0,28	0,76	0,41
Prach	0,31	0,72	0,45
Hlina	0,37	0,57	0,59
Íl	0,41	0,43	0,70

Pre určenie vzťahu medzi ε_1 a číslom pórovitosti e sa predpokláda, že deformácia vzorku zeminy $s = \varepsilon_1 h$ je ovplyvnená zmenšením objemu pórov zeminy.

Ak je číslo pórovitosti určené vzťahom $e = \frac{V_p}{V_z}$, celkový objem jednotky $V = V_z + V_p = h S$ tak po deformácii bude :

$$e_2 = \frac{V_p - \varepsilon_1 h S}{V_z} = e_1 - \frac{e_1 h S}{V_z} = e_1 - \varepsilon_1 (1 + e_1) = e_1 - \frac{s}{h} (1 + e_1) \quad (18)$$

Oedometer je upravený tak, aby sa prstenec svojou dolnou časťou opieral o dno oedometru. Táto skladba nepriamo ovplyvňuje stlačovanie vzorku, aby sme zabránili tomuto procesu, používame prístroj s voľnými prstencami (obr. 6), aby sa vzorka zeminy mohla deformovať z oboch strán rovnomerne.



Obrázok 6 - Oedometer : a) bežný, b) s „voľnými“ prstencami. [8]

Pri vzorkách zeminy, prekonsolidovaných íloch, sa pri odobratí vzorku z úložnej hĺbky zmení napätie vody v póroch, čo spôsobuje boptnanie zeminy. Taktiež je to spôsobené menším napätím od zaťaženia, ktoré bolo vyvolané pridanými závažiami. Z tohto dôvodu je podstatné vyvolať na začiatok oedometrickej skúšky prvý stupeň zaťaženia, hodnotu rovnajúcu sa napätiu v úložnej hĺbke odobratia vzorku.

Ďalšia zásadná vec, pri určovaní stlačiteľnosti je pomer výšky vzorku k jeho priemeru. Pri skúmaní, či výška vzorku ovplyvňuje stlačiteľnosť, bolo zistené že vzorky o výške 3 cm majú podstatne väčšiu stlačiteľnosť ako vzorky 4 – 5 cm vysoké. Z takéhoto hľadiska, by bolo vhodné používať vzorky o výške 4-5 cm, kde sa vylučuje vplyv nerovností povrchu. Pri oedometrickej skúške, s ohľadom na hydraulický spád je vhodnejšie používať vzorky s výškou 3 cm, z dôvodu vlhkosti. Vlhkostný rozdiel pri takýchto vzorkách, sa neprejavuje až taký veľký medzi povrchom a stredom vzorku.

Oedometrická skúška prebieha ako konsolidovanie zemín, kde je voda vytlačovaná z pórov a odteká hornou, a spodnou časťou, poréznymi doštičkami. Na rozdiel od oedometrickej skúšky, v praxi prebieha odvodňovanie zemín pod konštrukciami taktiež do strán. Tomuto javu sa hovorí radiálne odvodňovanie vrstvy zeminy.

Rýchlosť nanášania konsolidačného napätia, na vzorku zeminy má pomerne dôležité zastúpenie pri určovaní stlačiteľnosti. Pri oedometrickej skúške je potrebné počkať (približne 1-2 dni) , kým sa zastaví deformácia vzorku. Z praxe je dané, že je veľmi obtiažne zistiť na 100%, kedy je deformácia pozastavená, hlavne pri ílovitých zeminách, pretože stým súvisí neutrálne napätie vody v póroch.

Konsolidáciu vzorku zeminy, ovplyvňuje taktiež chemické zloženie kvapaliny, teplota a viskozita tekutej fázy zeminy, a v malej miere aj chemické vlastnosti častíc. Teplotou sa mení priepustnosť zemín, čím je koeficient priepustnosti určený pomocou vzťahu pri určitej teplote T :

$$k_T = k_{20^\circ\text{C}} \frac{\eta_{20^\circ\text{C}}}{\eta_T} \quad (19)$$

kde η dynamická viskozita

Pri laboratórnych skúškach zemín, bolo zistené že zvyšovanie teploty vzorku urýchľuje konsolidáciu zemín. Podľa obrázku Vplyv teploty na rýchlosť konsolidácie by sme mohli upraviť rovnicu stlačiteľnosti, vplyvom teploty na tvar :

$$s_T = \frac{h}{C_T} \ln \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \quad (20)$$

kde C_T teplotný súčiniteľ stlačiteľnosti

Tento koeficient ďalej môžeme vyjadriť ako vzťah :

$$C_T = C_{20^\circ\text{C}} \frac{\eta_T}{\eta_{20^\circ\text{C}}} \quad (21)$$

2.2 Konsolidácia

2.2.1 Definícia

Konsolidácia je proces pri ktorom sú častice pôdy zaťažované zvyšujúcim sa tlakom v priebehu časového obdobia. Tento proces je sprevádzaný vytlačovaním vody z pórov zeminy, dutín medzi pevnými časticami vrstvy. Stupeň nasýtenia S_r je objem vody nachádzajúci sa v prázdnych priestoroch medzi časticami pôdy, ktorý je vyjadrený v percentách. Jedná sa o pomer pórov e (voda, vzduch) k objemu pevných častíc zeminy.

$$S_r = \frac{w\rho_s}{e} \quad (22)$$

kde w je vlhkosť zeminy

ρ_s je objemová hmotnosť pevných častíc

e je číslo pórovitosti

ρ_w je objemová hmotnosť vody

Teória konsolidácie sa zameriava na plne nasýtené zeminy, v ktorých sú póry vyplnené iba vodou. Keď je zemina vystavená napätiu, jej objem má tendenciu klesať, čo sa môže pri nasýtenej zemine uskutočniť tromi spôsobmi :

- Stlačovanie pevných zŕn
- Stlačovanie vody v póroch
- Únik vody z pórov

Stlačovanie pevných zŕn je pri anorganických pôdach extrémne malé a je zanedbávané v konsolidačnej teórii. Naopak pri organických pôdach, najmä rašelinu, môže byť stlačovanie pevných častíc značné.

Stlačovanie vody v póroch je v porovnaní s ostatnými účinkami zanedbateľné. Väčšina sedimentárnych ílov je plne nasýtených, pri ktorých je proces konsolidácie najvýznamnejší. Prítomnosť vzduchu v póroch je znižovaná, aby bola umožnená čiastočná nasýtenosť, pre praktické využitie by bola táto analýza veľmi komplikovaná. Teória konsolidácie je preto založená na vytlačení vody z pórov medzi pevnými časticami vrstvy zeminy.

Hydrostatický tlak vody nachádzajúcej sa v póroch medzi pevnými časticami je označovaný písmenom u . Táto veličina je taktiež označovaná ako neutrálne napätie. V dôsledku vyvolaného tlaku z vonkajšieho zaťaženia dostávame hodnotu a to celkové napätie v zemine σ . Efektívne napätie σ' je vypočítané ako rozdiel medzi tlakom vody v póroch a celkovým napätím :

$$\sigma' = \sigma - u \quad (23)$$

Pre analytické účely je možné konsolidáciu zemín rozdeliť na tri fázy :

- Počiatočná konsolidácia
- Primárna konsolidácia
- Sekundárna konsolidácia

Počiatočná konsolidácia je uskutočnená súčasne s aplikovaním prírastku zaťaženia pri laboratórnych testoch, pred začatím vytlačovania vody zo vzorky zeminy. Je to čiastočne

spôsobené vytlačovaním malého množstva plynov, vzduchu z pórov a nahradenie týchto priestorov pevnými časticami alebo vodou. Touto fázou sa vytvára odchýlka teoretickej krivky pri začiatku prírastku zaťaženia. Vo vysoko priepustných relatívne tuhých pôdach je počas tejto fázy nevyhnutné zahrnúť určitú drenáž.

Primárna konsolidácia je časť celkového stlačenia pri zaťažení, na ktorú sa vzťahuje teória konsolidácie podľa Terzaghi. Je to časovo závislé stlačovanie vzorku, v dôsledku rozptýlenia nadmerného pórového tlaku pri zaťažení. Táto fáza úzko súvisí s teoretickou krivkou pre väčšinu ílov.

Sekundárna konsolidácia je stlačenie, ktoré nasleduje po tom, ako sa nadbytočný pórový tlak prakticky rozptýlil. Pri sekundárnej konsolidácii sa predpokladá, že je spôsobená pokračujúcim sa pohybom častíc, pretože štruktúra zeminy je prispôbovaná zvyšujúcemu sa účinnému tlaku. Pri tejto fáze nedochádza ku obnoveniu na pôvodný stav, pri odstraňovaní aplikovaného zaťaženia aj keď je pozorovateľné boptnanie zeminy ako napríklad pri rašelinách.

Pre stanovenie koeficientu konsolidácie je potrebné porovnať laboratórnu krivku stlačiteľnosti s charakteristikami teoretickej krivky stlačenia.

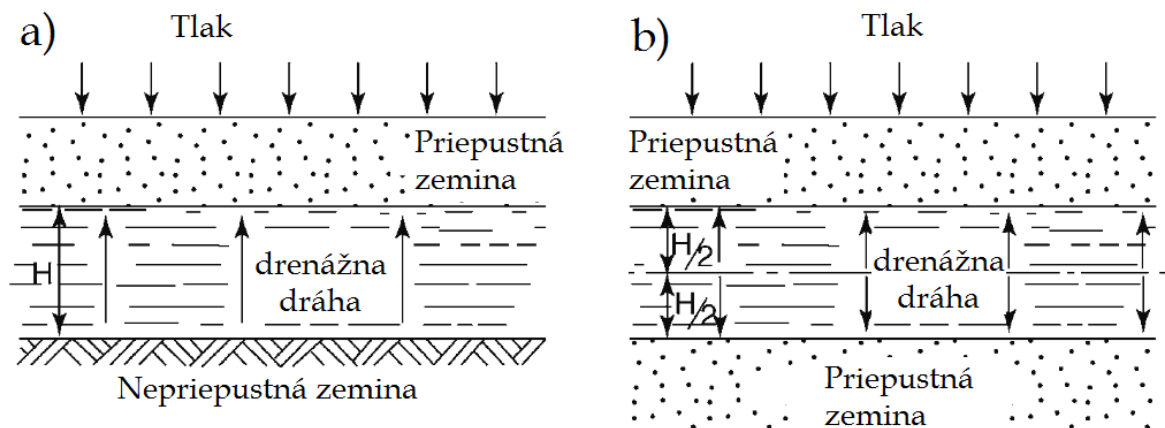
2.2.2 Predpoklady konsolidačnej teórie – Terzaghi

Predpoklady z ktorých vychádza teória konsolidácie sú zhrnuté do bodov :

- Vrstva ktorá je vystavená konsolidačnému procesu je horizontálna, homogénna, rovnomernej hrúbky a je bočne uzavretá.
- Póry sú vyplnené vodou, čím je zemina plne nasýtená.
- Samotné častice pôdy a voda nie sú stlačiteľné.
- Tok vody podľa Darcyho zákona je pri konsolidácii platný.
- Koeficient permeability a ostatné vlastnosti zeminy zostávajú počas prírastku napätia konštantné.
- Aplikovaný tlak od zaťaženia je rovnomerný pozdĺž vodorovnej roviny.
- Odtok vody prebieha iba vo vertikálnom smere, stlačiteľnosť je jednorozmerná.
- Zmena napätia vyvolaného na vrstvu a v pôde spôsobuje zmenu pomerov prázdnych miest a ich vzťah je lineárny počas akéhokoľvek prírastku tlaku.

- Počiatočný nadmerný tlak v póroch, je v dôsledku aplikácie zaťaženia rovnomerný v hĺbke vrstvy zeminy.
- Čas konsolidačného obdobia je spôsobené nízkou priepustnosťou.
- Hmotnosť samotnej pôdy je zanedbateľná.

V tejto kapitole sa označuje hrúbka vrstvy zeminy alebo výška vzorku H pri oedometrickej skúške. Pri použití koeficientu konsolidácie c_v vo výpočte, nie je podstatná výška zeminy H , ale najdlhšia odtoková dráha, označená h . Pri odtoku vody z vrstvy zeminy do dvoch smerov je najdlhšia drenážna dráha rovná polovici vzorku. Na obrázku (obr.7) sú znázornené dva spôsoby odtoku vody z vrstvy zeminy, (obr. 7a) je jednosmerný odtok a (obr. 7b) obojsmerný odtok. Teoretické rovnice sa vzťahujú na obidva prípady, kde sú vyjadrené písmenom h . Následovne môže symbol h nahradiť hodnotou H alebo $0,5H$, podľa vhodnosti použiteľnosti. Pri štandardnej oedometrickej skúške platí prípad (obr.7b) z dôvodu vytlačenia vody z pórov cez porézne dmajoštičky, ktoré ohraničujú vzorku zeminy zhora a taktiež zdola.



Obrázok 7 - Konsolidácia : a) jednorázová drenáž; b) dvojitá drenáž. [11]

2.2.3 Koeficient konsolidácie

Pre dané percento primárnej konsolidácie, za určitú dobu t , prírastkom zaťaženia je možné použiť na určenie koeficientu konsolidácie rovnicu :

$$c_v = \frac{T_v}{t} h^2 \quad (24.1)$$

$$c_v = \frac{k}{\rho_w g m_v} \quad (24.2)$$

kde k koeficient priepustnosti

ρ_w hmotnosť vody

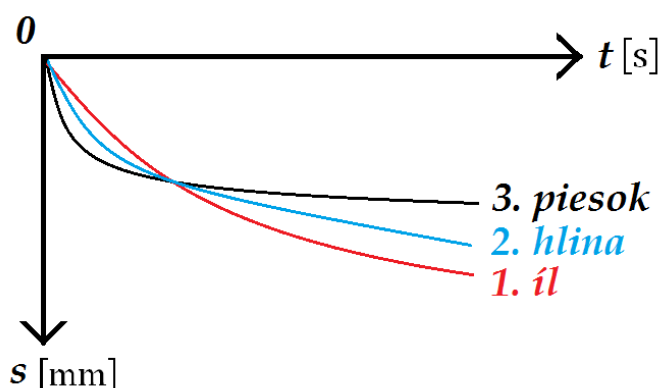
g zrýchlenie spôsobené gravitáciou

m_v koeficient objemovej stlačiteľnosti

T_v časový faktor

2.2.4 Časový priebeh konsolidácie zemín

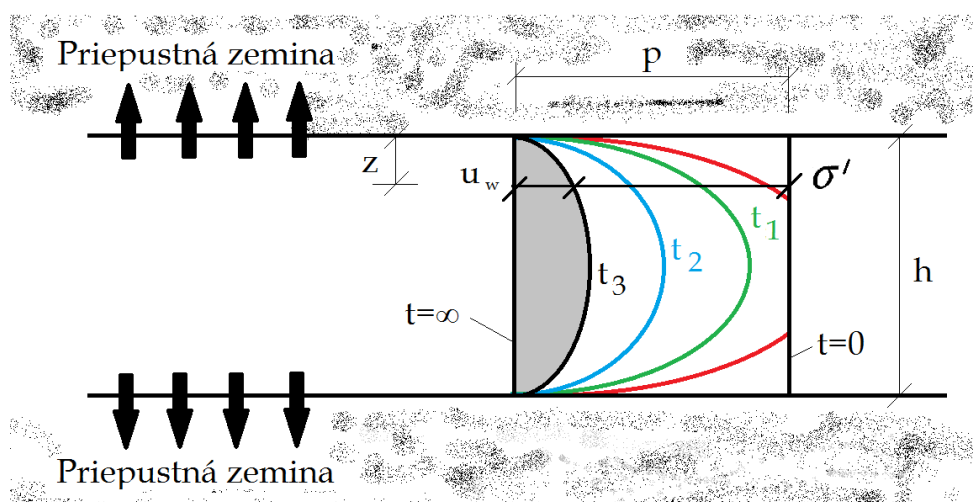
Zakladanie stavieb na miestach, kde sa nachádzajú málo priepustné zeminy, je potreba sledovať deformácie vrstiev zeminy v závislosti na čase. Priebeh konsolidácie u takýchto zemín je dlhodobý proces, z dôvodu pozvoľného vytlačovania vody z pórov pôsobením konsolidačného napätia. Porovnaním tohto typu zeminy a priepustných piesčitých zemín, dochádza k záveru, že pri piesčitých zeminách je priebeh konsolidácie a dochádza k deformáciám, hneď po ich zaťažení. Štruktúru ílovitých zemín je možné zjednodušene opísať, ako skladbu zŕn, ktoré tvoria celistvé časti a sú obklopené vodou. Voda sa nachádza v nepatrných póroch, ktoré nie sú viditeľné na prvý pohľad. Pri rýchlom zaťažení takéhoto vzorku zeminy, od konsolidačného napätia p , nedochádza hneď ku konsolidácii. V tomto okamihu, je konsolidačné napätie prenášané vodou v póroch, keďže póry sú veľmi malé a voda sa z nich vytlačuje dlhšiu dobu. Voda je pod napätím, ktorá sa nachádza v póroch a toto napätie nazývame ako neutrálne, a značíme ho u_w .



Obrázok 8 - Konsolidácia zemín : časový priebeh deformácie. [8]

Tým že je voda vytlačovaná z pórov, budú časti zeminy bližšie k sebe, tým bude zaťaženie prenášané zrnami zeminy, kde vzniká následovne efektívne napätie medzi zrnami označované ako σ' . Na obrázku (obr. 9) vidíme, že na začiatku konsolidácie je toto napätie nulové. Napätie má tendenciu stúpať v závislosti na vytlačovaní vody z pórov. Na rozdiel od efektívneho napätia, neutrálne je na začiatku skúšky rovné konsolidačnému napätiu a po ukončení konsolidácie (vytlačenia vody z pórov) je nulové.

V prípade ak je ílovitá vrstva zeminy obklopená pieskovými vrstvami, tak je možné vytlačovanie vody z pórov smerom nad ílovitú vrstvu a taktiež pod ňu.



Obrázok 9 - Konsolidácia : priebeh efektívneho a neutrálneho napätia pri konsolidácii.
[8]

Neutrálne napätie u_w v hĺbke z je po určitom čase vyšrafované šedou farbou na obrázku (obr. 9) zatiaľ čo efektívne napätie je označované ako σ' . Tým pádom, je neutrálne a efektívne napätie ξ , a ďalej môžeme odvodiť vzorce ako napríklad rovnicu podľa ktorej dochádza ku konsolidácii :

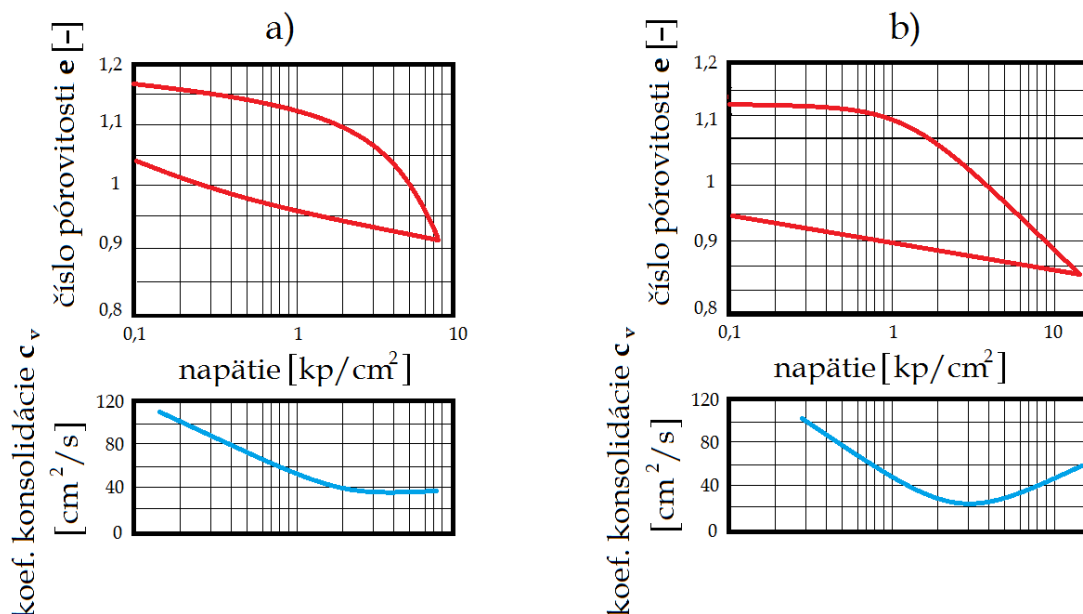
$$p = u_w + \sigma'' \quad (25)$$

Súčiniteľ konsolidácie je vyjadrený číselným rozmedzím $1 - 100 * 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$. Časový priebeh sadania nie je nutné počítať pri zeminách, ktoré majú hodnotu súčiniteľa konsolidácie, väčšiu ako $10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$. Pri takomto prípade dochádza ku rýchlej konsolidácii. Pre zeminy, udáva hodnoty c_v David Watson Taylor v tabuľkovej podobe (tab. 5).

Tabuľka 5 - Hodnoty súčiniteľa konsolidácie c_v . [8]

Zemina	c_v
Bostonský modrý íl	$(35 \text{ až } 100) * 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$
Chicagský íl	$(1 \text{ až } 5) * 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$
Silt	$(2 \text{ až } 5) * 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$
rašelina	$(1 \text{ až } 4) * 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$

Jeho výsledky sú uvedené na nasledujúcom obrázku (obr. 10) pre bostonský a chicagský íl.



Obrázok 10 - Konsolidačné skúšky (D. W. Taylor) : a) bostonský íl; b) chicagský íl. [8]

2.2.5 Stupeň konsolidácie

Pomer prebytočného tlaku v póroch sa stráca po určitej dobe v dôsledku odvodnenia, k počiatočnému nadmernému tlaku v póroch, v každom okamihu počas konsolidačného procesu. Tento ja je nazvaný ako stupeň konsolidácie U . Pri sledovaní priebehu konsolidácie, vieme určiť deformáciu s_t v určitom čase po zaťažení zeminy. Teoreticky je známe, že konečná konsolidácia s_k nastane po nekonečnej dobe. Po vložení týchto dvoch deformácií do pomeru získame stupeň konsolidácie :

$$U = \frac{u_1 - u_w}{u_1 - u_0} * 100\% \quad (26)$$

kde u_w je tlak v póroch, pri posudzovanom čase

u_1 je počiatočný tlak v póroch

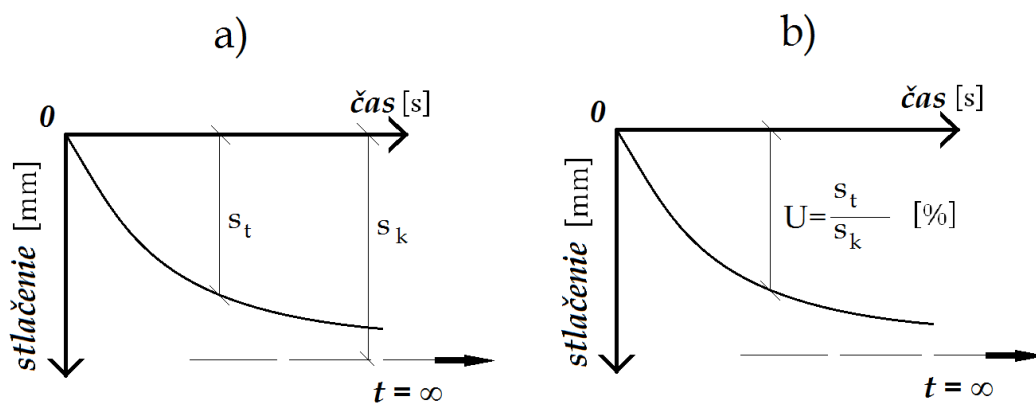
u_0 je rovnovážny tlak v póroch, po ukončení konsolidácie

Deformáciu po určitej dobe môžeme odvodiť z predchádzajúceho vzorca a to :

$$s_t = s_k U \quad (27)$$

Konečná deformácia je určená ako vzťah :

$$s_k = s = \frac{a}{1+e_1} ph \quad (28)$$



Obrázok 11 - Priebeh konsolidácie : a) závislosť stlačenia na čase; b) závislosť stupňa konsolidácie na čase. [8]

Pri stlačení skúšanej vrstvy zeminy d_z , na d_s v závislosti na čase d_t bude odvodená rovnica :

$d_s = \frac{a}{1+e} (p - u_w) dz$. Stlačenie vrstvy, za rovnaký časový interval, výšky $2h$ bude určené rovnicou :

$$s_t = 2 \int_0^h \frac{a}{1+e} (p - u_w) dz = 2 \frac{a}{1+e} \left[\int_0^h p dz - \int_0^h u_w dz \right] = 2 \frac{a}{1+e} ph - 2 \frac{a}{1+e} \int_0^h u_w dz \quad (29)$$

Následne sa táto rovnica s_t dosádza do rovnice $U = \frac{s_t}{s_k}$. Ďalším spôsobom vyjadrenia stupňa konsolidácie môžeme použiť vzťah :

$$U = 1 - \frac{u_w}{p} = \frac{p - u_w}{p} 100\% \quad (30)$$

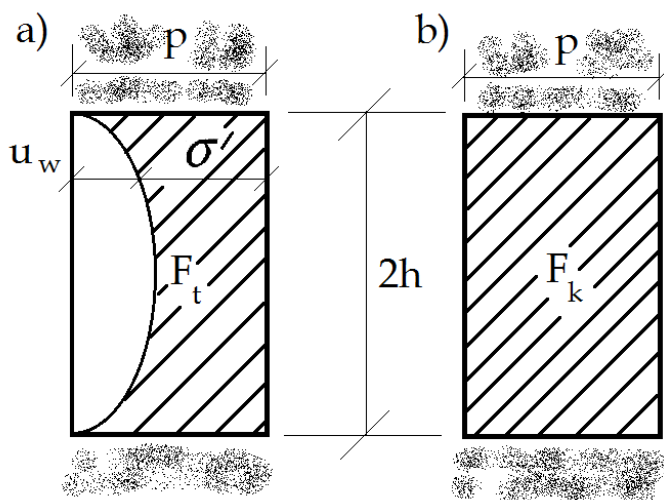
kde u_w neutrálne napätie

p napätie

Je známe že efektívne napätie, ktoré vyvolá deformáciu s_t po určitej dobe sa dá vypočítať pomocou rovnice :

$$\sigma'(z, t) = p \left(1 - \frac{4}{\pi} \sin \frac{\pi z}{2h} e^{-N} - \frac{4}{3\pi} \sin \frac{3\pi z}{2h} e^{-9N} - \frac{4}{(2m+1)\pi} \sin \frac{(2m+1)\pi z}{2h} e^{-(2m+1)^2 N} \right). \quad (31)$$

Plochou F_t (obr. 12a), predstavovanú izochormou, ktorá je vyvolaná efektívnym napätím. Zemina o mocnosti $2h$, s odvodnením pri konsolidácii na obidve strany, bude na konci konsolidácie napätie, predstavovať plochu $F_k = 2h * p$ (obr. 12b).



Obrázok 12 - Rozdelenie napätia pri konsolidácii. [8]

Stupeň konsolidácie je možné následovne vyjadriť ako vzťah :

$$U = \frac{F_t}{F_k} = \frac{\int_0^{2h} \sigma' dz}{2h * p} \quad (32)$$

Po dosadení rovnice (31) integráciou a úpravou je odvodený vzťah :

$$U = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{1}{(2m+1)^2} \exp - (2m+1)^2 N \quad (33)$$

Popríklad v inej úprave :

$$U = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{m=1,2,3}^{m=\infty} \frac{1}{(2m+1)^2} \exp - (2m+1)^2 N \quad (34)$$

Vhodný tvar ktorý je používaný pre praktické výpočty :

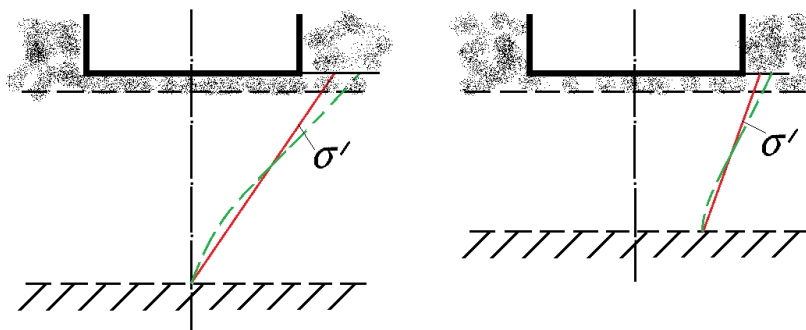
$$U = 1 - \frac{8}{\pi^2} (e^{-N} + \frac{1}{9} e^{-9N} + \frac{1}{25} e^{-25N} + \dots \dots) \quad (35)$$

kde $N = \frac{\pi^2 c_v t}{4h^2} = \frac{\pi^2}{4} T$

T časový faktor

Pre obdĺžnikové rozdelenie napätia, prípad č. 2. (obr. 15), kde je efektívne napätie konštantné po celej výške, platia rovnice (34) a (35).

Napätie sa hĺbkou znižuje podľa krivky σ' , ak sa nachádza pod základovou konštrukciou ílovitá vrstva (obr. 13). Túto krivku je možné nahradiť približne priamkou. Týmto spôsobom dostávame rozdelenie napätia trojuholníkové, ktoré nám predstavuje prípad č. 1 (obr. 15) , taktiež prípad č. 3 (obr. 15) a 4 (obr. 14) pre lichobežníkové rozdelenie, ktoré je z týchto možností v praxi najčastejšie. Ak ide o neogénne íly vo veľkých hĺbkach, tak v prípade č. 1 berieme hĺbku h približne trojnásobku šírky základu.



Obrázok 13 - Zmena napätia v pôde v závislosti na hĺbke. [8]

Následne sú uvedené vzťahy stupňa konsolidácie pre rôzne rozdelenia napätia. Známy vedec O. Fröhlich (1934) dokázal, že pre každé priamkové rozdelenie napätia je stupeň konsolidácie určený rovnicou (34) alebo (25). Tieto rovnice platia taktiež pre prípad č. 2. Prípad č. 1 je určený vzťahom :

$$U = 1 - \frac{32}{\pi^2} \sum_{m=1,2,3}^{\infty} \frac{(-1)^{m+1}}{(2m-1)^3} \exp - (2m+1)^2 N = 1 - \frac{32}{\pi^3} e^{-N} \quad (36)$$

Pre ďalší prípad č. 3 je zadaný vzťah :

$$U = 2U_{\blacksquare} - U_{\boxminus} = 1 - \left(\frac{16}{\pi^2} - \frac{32}{\pi^3} \right) e^{-N} \quad (37)$$

Rozdelenie lichobežníkového napätia je známe z obrázku (obr. 14) a delí sa na prípad č. 4a) a 4b). Pre tieto dva prípady platia vzťahy :

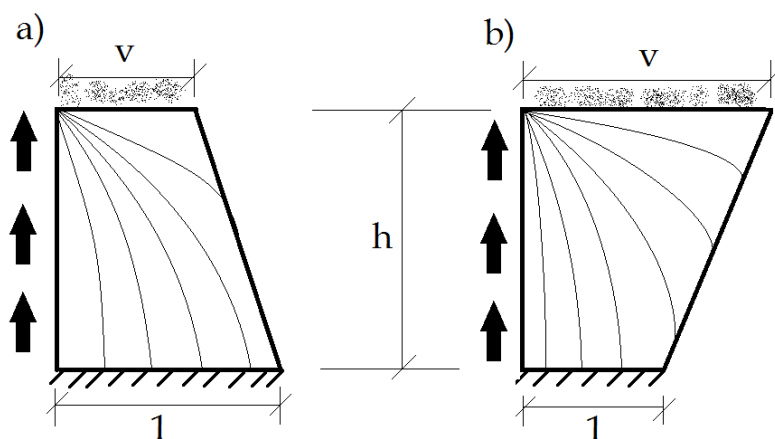
Pre prípad č. 4 (obr. 14a)

$$U = U_0(\text{prípado } 0) - \frac{1-v}{1+v} (U_0 - U_1) \quad (38)$$

Pre prípad č. 4 (obr. 14b)

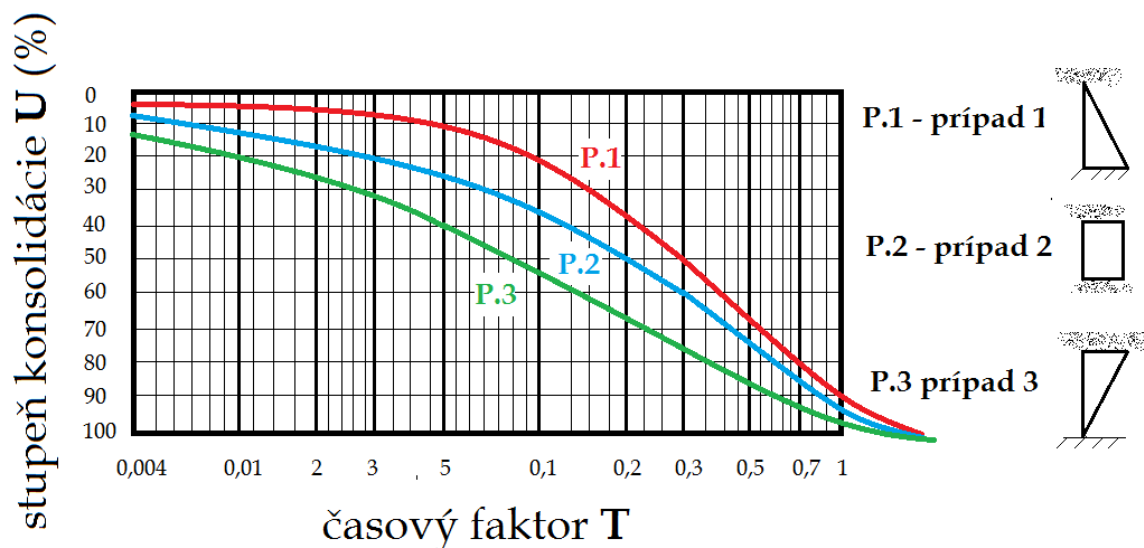
$$U = U_0 + \frac{v-1}{v+1} (U_0 - U_1) \quad (39)$$

kde v podiel napätia na priepustnom povrchu a napätia na nepriepustnom povrch



Obrázok 14 – Prípady č. 4 rozdelenia napätia : a) $v < 1$; b) $v > 1$. [8]

Pre ľahší výpočet vzorcov sú v tabuľke (tab. 6) uvedené konsolidačné stupne U_0 a $U_0 - U_1$ pre časové faktory T . Obrázok (obr. 15) slúži na rýchlejšie vypočítanie konsolidácie, kde vodorovná osa predstavuje časový faktor a zvislá stupeň konsolidácie.



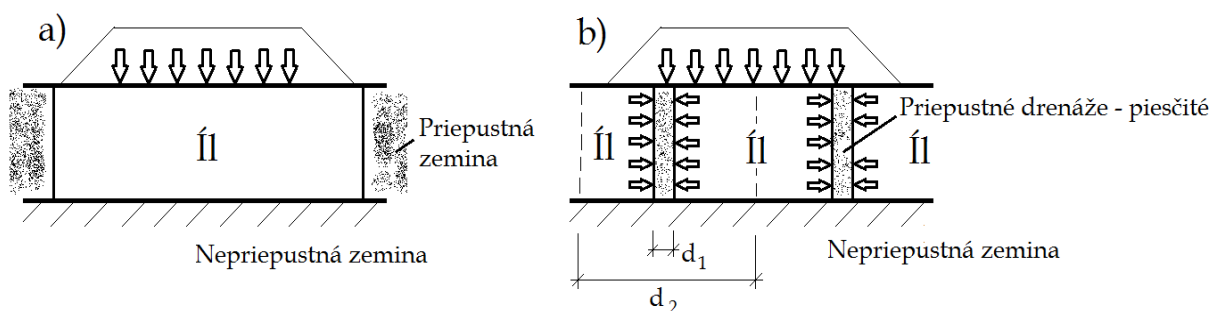
Obrázok 15 - Diagram závislosti stupňa konsolidácie na časovom faktore. [8]

Tabuľka 6- Stupne konsolidácie U_0 pre rôzne časové faktory T . [8]

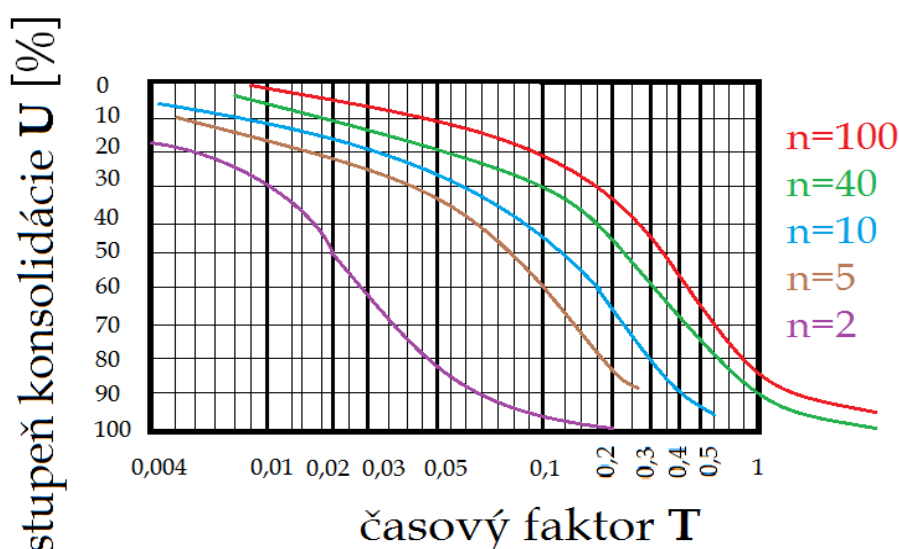
T	U_0	$U_0 - U_1$	T	U_0	$U_0 - U_1$
0,004	0,0795	0,063	0,250	0,5622	0,119
0,008	0,1038	0,085	0,300	0,6132	0,105
0,010	0,1248	0,100	0,350	0,6582	0,093
0,020	0,1595	0,120	0,400	0,6973	0,083
0,028	0,1889	0,133	0,500	0,7640	0,064
0,036	0,2141	0,142	0,600	0,8156	0,051
0,048	0,2464	0,151	0,700	0,8559	0,039
0,060	0,2764	0,156	0,800	0,8874	0,030
0,072	0,3028	0,159	0,900	0,9119	0,024
0,100	0,3562	0,160	1,000	0,9313	0,018
0,125	0,3989	0,155	2,000	0,9942	0,001
0,200	0,5041	0,134	∞	1,0000	0

2.2.6 Trojrozmerná konsolidácia

U trojrozsmernej konsolidácii dochádza k prípadu všesmerného prúdenia vody, pri zaťažení základovými konštrukciami, takže dochádza ku priestorovej konsolidácii. Diagram (obr. 17), možno použiť pri urýchlení konsolidácie pod konštrukciami alebo násypmi, pre ílovité vrstvy. Trojrozmerná konsolidácia je ovplyvnená dvomi situáciami, vrstvy podložia pod konštrukciou. Jednou zo situácií je skladba vrstvy znázornená na obrázku (obr. 16a). Druhá varianta (obr. 16b), kde sú pod konštrukciou vyvrtané otvory, ktoré sú následne vyplnené pieskom. Piesčité drenáže slúžia rýchlejšiemu odvedeniu vody z pórov vrstvy zeminy a tým sa skráti konsolidačný proces.



Obrázok 16 - Urýchlzenie konsolidácie piesčitými drenážami



Obrázok 17 - Diagram závislosti stupňa konsolidácie na časovom faktore pre radiálne odvodnenie. [8]

Na obrázku (obr. 17), určujú krivky v diagrame pomer dosahu čerpania vody k priemeru drenáže :

$$n = d_2/d_1 \quad (40)$$

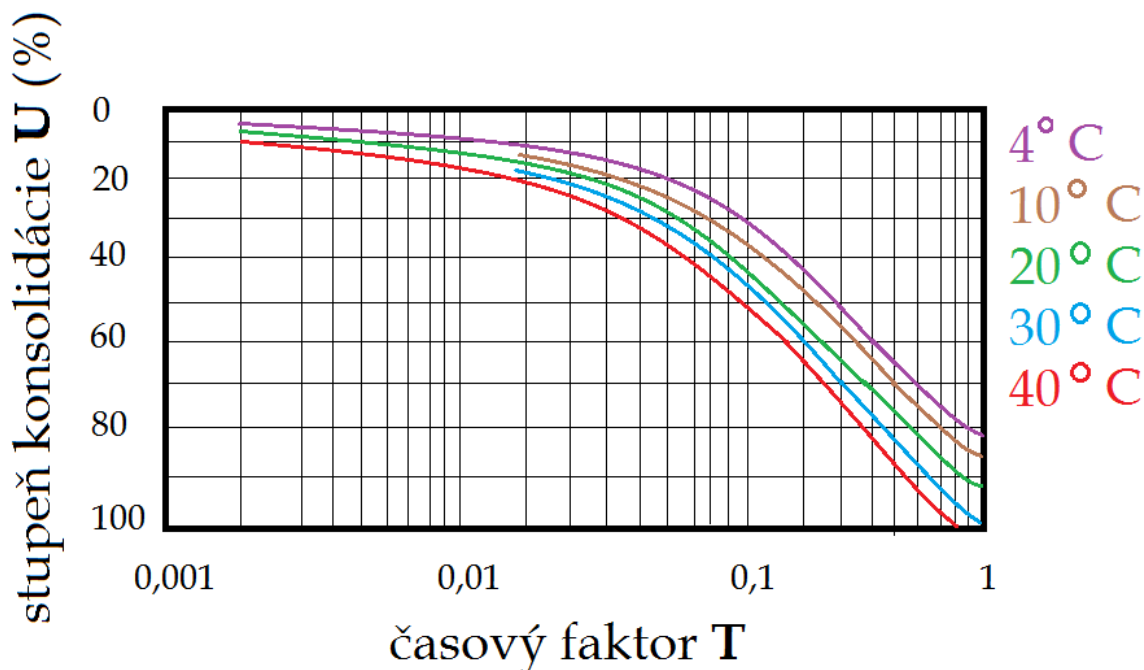
kde d_2 je priemer válca piesčitej drenáže

d_1 je priemer válca zabranej oblasti jednej piesčitej drenáže

Stupeň konsolidácie v tomto diagrame nájdeme ako zvislicu pre časový faktor T .

2.2.7 Vplyv teploty a iných faktorov na konsolidáciu

Teplota má určitý vplyv na konsolidáciu zemín a to z dôvodu zmeny viskozity vody nachádzajúcej sa vo vrstve. Tento jav ovplyvní celkovú konsolidáciu zeminy, čím sa proces konsolidácie zrýchli. Na základe tohto faktu je možné vytvoriť graf, vyjadrujúci vzťah medzi časovým faktorom a stupňom konsolidácie (obr. 18). Tento graf je možné použiť pri obdĺžnikovom rozdelení napätia, kedy je vrstva zeminy odvodňovaná z oboch strán.



Obrázok 18 - Vplyv teploty na stupeň konsolidácie. [8]

Hoci zvyšovanie teploty má vplyv na rýchlosť konsolidácie, tak pri primárnej fáze je tento účinok zanedbateľný a prejaví sa až pri sekundárnej stlačiteľnosti. Tento jav môže byť významnejší pre organické zeminy, najmä rašeliny, ako pri anorganických pôdach.

2.2.8 Chovanie vzduchu v póroch zeminy pri konsolidácií

Konsolidačná teória predpokladá, že vrstva zeminy je stlačovaná dovtedy, kým je možné vytlačovanie vody z pórov. Ďalšími zložkami, ktoré môžu póry vrstvy obsahovať sú plyny a vzduch. Vzduch uzavretý vo vode nemá žiadny podstatný vplyv na stav vody, pokiaľ počas celej konsolidácie sa teplota a tlak vody nemení. Behom konsolidácie sa tlak mení, pričom teplota zemín je konštantná. Rozpúšťanie vzduchu prebieha tak dlho, pokiaľ nastane medzi vzduchom a vodou rovnovážny stav. Ako aj tlak a teplota pôsobia na rozpustnosť, tak veľké zastúpenie pri rozpustnosti majú povaha plynu a kvapaliny. Čím je zvyšovaný tlak, tým sa rozpustnosť plynu zväčšuje. Najmenej rozpustný plyn vo vode je hélium, pričom sa rozpustí 0,01 ml hélia v 1ml vody pri tlaku 1 atm a teplote 0 °C. Najviac rozpustný je amoniak, ktorý má podstatne väčšiu rozpustnosť ako hélium a to 1 300ml amoniaku v 1ml vody pri rovnakom tlaku a taktiež rovnakej teplote.

W. Henry sa venoval závislosti rozpustnosti plynov na tlaku pri konštantnej teplote a odvodil zákon ktorý pozostáva z váhového množstva plynu rozpusteného v určitej objemovej jednotke kvapaliny, ktoré je pri danej teplote priamo úmerné tlaku plynu :

$$\frac{a}{V} = kp$$

kde a je množstvo plynu

V je objemová jednotka kvapaliny

p je tlak

k je konštanta úmernosti

3. Popis prípravy vzorku zeminy

3.1 Odber vzorky

Na začiatku stavebných prác bytového domu, boli prevedené vrty, ktoré slúžili na odobratie vzorky zeminy, pre laboratórne skúšky. V tejto bakalárskej práci sa jednalo o zeminu s hmotnosťou $m = 7\text{kg}$. Odber vzorky je dôležitou súčasťou klasifikačných rozborov, danej zeminy, a to stanovenie hodnôt totálnych a efektívnych pevností, stlačiteľnosti a technologických vlastností. Pri tejto činnosti je zásadou, zachovanie aktuálnej vlhkosti zeminy, neporušených vzoriek, ktoré sú následne po odobratí vložené do uzatvárateľných nádob. Odobranie vzorku je možné vykonávať pomocou kopaných sond alebo častejšie využívaných vrtných sond.

3.2 Príprava vzorky

Po odobratí vzorky zeminy a vložení do uzatvoriteľných nádob, boli premiestnené do laboratórií, kde boli následne vykonané laboratórne experimenty. Pred začatím skúšok, bola zistená vlhkosť odobratej zeminy, ktorá predstavovala hodnotu $w = 2,02\%$. Pre laboratórne experimenty bolo potreba zeminu rozdrviť na jemné frakcie, pre zistenie presného zatriedenia zemín a ostatných pokusov. Po rozdrvení vzorku, bola zemina umiestnená znova do uzatvoriteľnej nádoby pre zachovanie vlhkosti. Pri drvení bola zistená minimálna strata vlhkosti, ktorá sa pohybovala v radoch stotín.

3.3 Popis neporušeného vzorky

Tieto zeminy predstavujú hmotu, kedy potrebujeme zistiť technické vlastnosti. Jedná sa o základné laboratórne experimenty ako je zrnitosťné zatriedenie pre klasifikáciu zemín (*obr. 26*). Do popisu vzorku je potrebné zahrnúť taktiež farbu, štruktúru, vlhkosť a údaje o makroskopických alebo senzorických známkach znečistenia. Podľa noriem, ktoré boli použité na zatriedenie, a to ČSN 73 1001 (neplatná norma), ISO 14 688 bolo zistené že sa jedná o zeminu prevažne ílovitých zložiek. Podľa normy ČSN 73 1001 bolo zatriedenie určené ako Íl so strednou plasticitou (*obr. 27*) a podľa ISO 14 688 sa jednalo o Prachovitý íl (*prí. PI*) (*obr. 28*).

3.4 Popis rekonštituovanej vzorky

Rekonštituovaná vzorka zeminy je stav, kedy dochádza k zmenám objemu celkového vzorku, výšky vzorku v oedometrickom prístroji a taktiež zmene objemu pórov a vody obsiahnutých v zemine. Zemina bola uložená do oedometrického prístroja, kde bolo nanesené prvé závažie o hmotnosti $m = 5,16 \text{ kg}$, ktoré predstavuje geostatické napätie v hĺbke uloženia pred odobratím $\sigma = 4,48 \text{ kPa}$. Toto napätie od prvého zaťaženia, bolo ponechané pôsobiť 72 hodín, pri každej oedometrickej skúšky s rôznymi vlhkosťami vzoriek. Zmeny výšok vzorku, uloženého v oedometrickom prístroji, na základe rekonštituovania zeminy sú následne uvedené vo výsledkoch tejto bakalárskej práce (*prí. PII - PVII*).

4. Postup laboratórnych experimentov

Pred samotným zahájením oedometrických skúšok na vzorkách odobratých, rekonštituovaných zemín, boli vykonané pomocné laboratórne skúšky. Jedná sa o skupinu skúšok, ktorá bola realizovaná ku zatriedeniu zeminy a zistenia jej základných fyzikálnych, mechanických a niektorých technických vlastností. Fyzikálne vlastnosti sú tie ktoré môžeme hodnotiť kvantitatívne a mechanické sú vlastnosti chovania zemín pri procese namáhania. Laboratórne merania týchto vlastností, slúžia najmä ako podklady pre geotechnické účely využívania hornín a zemín ako stavebného materiálu. Vlastnosti zemín a hornín sa stanovujú skúškami, ktoré sú uvedené v normách alebo niektorých technických predpisoch.

Typy vykonaných skúšok :

- Mokrá zrnitostná presievacia skúška
- Zrnitostná hustomerná skúška
- Stanovenie mernej hmotnosti – pyktometrická skúška
- Stanovenie medzi tekutosti – Vasiliev
- Stanovenie medzi plasticity
- Edometrická skúška stlačiteľnosti

Z dôvodu odobratia vzorky zeminy z úložnej hĺbky, a straty minimálnej vlhkosti dobou odstátia v nádobe, bola táto vzorka rozdrvená a pripravená na laboratórne merania. Laboratórne merania vyžadujú dôkladnú prípravu vzorku, aby boli merania čo najpresnejšie

a najúčinnšie pre ďalšie postupy, výpočty a predpokladaný návrh výstavby konštrukcie na mieste odobratia vzorku zeminy.



Obrázok 19 - Príprava odobratého vzorku zeminy pred laboratórnymi skúškami

4.1 Mokrú presievacia skúška

Mokrú presievacia skúška je vykonávaná z dôvodu presnejšieho určenia percentuálneho podielu veľkostí zŕn, obsiahnutých vo vzorke zeminy. Táto skúška sa používa pri zeminách, obsiahnutých viac ako 10 percentným podielom jemnej frakcie, pretože môže dochádzať k nepresnému prepadu týchto častíc cez dané sitá. Je použiteľná najmä pri hlinitých, prachovitých zeminách, pričom suchá presievacia skúška sa využíva najmä pri piesčitých a štrkových zeminách. V tejto bakalárskej práci je použitá mokrá presievacia skúška, keďže sa jedná o zeminu hlinitých a prachovitých zložiek (*príl. I.*).

Postup :

- Príprava 500 g vysušenej zeminy z odobratého vzorku.
- Suchá zemina je umiestnená do misky, do ktorej je následne pridaná voda a v takomto stave je ponechaná po dobu 1 hodiny odstáť.
- Po ukončení tejto doby je vzorka zeminy poriadne premiešaná, pre rozpojenie pevných častíc a lepší prepád cez sitá.
- Príprava sady sit (0,0063; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2 mm) a odváženie jednotlivých sit s presnosťou na 2 desatinné miesta.
- Samotné presievanie zeminy cez sústavu sit, pomocou vody a štetca na rozptýlenie pevných častíc pokým je ukončený prepád zŕn cez jednotlivé sitá.
- Vloženie sit so zachytenými časticami zeminy do sušičky.

- Zváženie sít s vysušenou zeminou, s presnosťou na 2 desatinné miesta.
- Odčítanie hmotnosti samotných sít od hmotnosti sít s vysušenou zeminou.
- Z vypočítanej gramáže zachytených zŕn na site, je dosiahnutý percentuálny podiel častíc zeminy.
- Vynesenie percentuálneho podielu do krivky zrnitosti.
- V tejto bakalárskej práci, pre zistenie presnej krivky zrnitosti museli byť vykonané ďalšie pomocné skúšky a to zrnitostná hustomerná a pyktometrická skúška, na základe veľkého percentuálneho podielu zŕn pod veľkostný parameter 0,06 mm.



Obrázok 20 - Ukážka zachytenia zŕn na site pri mokrej presievacej skúške

4.2 Zrnitostná hustomerná skúška

Častice zeminy prepadnuté cez najmenšie sito sústavy (0,063 mm) nie je možné rozdeliť do celkov na zistenie úplnej krivky zrnitosti. Tým pádom je nutné použiť zrnitostnú hustomernú skúšku na zistenie granulometrie jemnozrnných súdržných zemín. Hustomerná skúška je založená na princípe Stokesovho usadzovacieho zákona. Zrnitosť pri hustomernej skúške sa zisťuje pomocou rýchlosti usadzovania jemných častíc vo vode. Predpokladom pri tejto skúške je, ako sedimentujú pevné častice v suspenzií, preto je táto metóda založená na meraní hustoty v čase.

Postup :

- Po ukončení mokrej presievacej skúšky, odoberieme 30-40 g vysušenej najmenejšej frakcie, ktorá prepadla cez najmenšie sito 0,063 mm.

- Odoberatú vzorku zväžíme s presnosťou na 2 desatinné miesta.
- Zeminu vložíme do nádoby a pridáme vodu, následne rozmiešame vzorku vo vode a necháme ju odstáť po dobu 24 h..
- Zeminu po 24h. poriadne premiešame a naleje sa do odmerného váľca, kde pridáme vodné sklo, dolejeme vodu do 1 l a miešame po dobu 5 min..
- Ako náhle skončí premiešavanie, vložíme hustomer do odmerného valca a odčítame čas .
- V časových intervaloch (15, 30s; 1, 2, 4, 8, 15, 30 min.; 1, 2, 4, 16, 24, 48 h.) meriame hustotu a teplotu .
- Hustotu odčítavame na stupnici hustomeru.



Obrázok 21 - Hustomerná skúška

4.3 Stanovenie mernej hmotnosti – pyktometrická skúška

Pyktometrická skúška slúži na stanovenie hustoty tuhej látky v kvapaline. Pomocou tejto metódy zistíme hmotnosť a objem vzorky bez pórov, pre to je potrebné pórovitú vzorku rozdrtiť a vysušiť, respektíve presiať zeminu cez sito 0,063 mm. Pri hustomernej skúške treba dbať na doplnenie pyktometrickej nádoby destilovanou vodou a temperovania teploty variča aby nedošlo ku strate obsahu v pyktometrickej nádobe.

Postup :

- Odváža sa suchý prázdny pyktometer (so zátkou) a stanoví sa hmotnosť m_1 .
- Vzorka zeminy sa vloží do pyktometra 1/3 výšky pyktometra, odvážime a stanoví sa hmotnosť m_2 .
- Doplní sa destilovaná voda do 3/4 výšky pyktometra, odváži sa a stanoví sa hmotnosť m_2 .
- Pyktometer je umiestnený na varič, kde je ponechaný po dobu 15 min pri stálom varení.
- Po ukončení varu, sa doleje do pyktometra destilovaná voda a teplota sa temperuje na 20 °C.
- Váženie suchého pyktometru m_3 .
- Pyktometer sa vyčistí a naplní destilovanou vodou, zistí sa váha m_v .



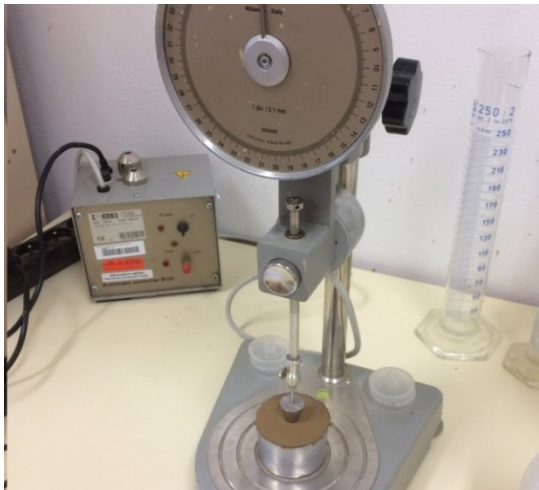
Obrázok 22 - Pyktometrická skúška

4.4 Stanovenie medzi tekutosti – Vasiliev

Pomocou Vasilievovho kužela sa stanoví hodnotu medzi tekutosti w_L . Táto hodnota predstavuje vlhkosť, kedy sa zemina dostáva zo stavu plastického do stavu tekutého (Atterbergová medz).

Postup :

- Príprava vzorku o hmotnosti cca 200g presievaného cez sito 0,5mm .
- Vzorka zeminy sa vloží do nádoby a pridá sa voda, následne poctivo premiešame zeminu s vodou.
- Premiešanú vzorku zeminy s vodou vložíme do hliníkovej misky, kde dbáme na na elimináciu vzduchových medzier a povrch zarovnáme laboratórnym nožom.
- Naplnenú misku vložíme pod špičku Vasilievovho kužela, a spravíme počiatočné meranie poklesu na prístroji.
- Spustíme prístroj, ktorý umožní zaborenie kužela do zeminy a nasleduje odčítanie hodnoty zaborenia (10-30 mm).
- Po skončení skúšky odoberieme do váženky cca 20g zeminy a zistíme vlhkosť daného použitého vzorku.
- Tento postup opakujeme 5x s pridaním ďalšieho množstva vody.
- Vynesenie nameraných hodnôt zaborenia do grafu, umožňuje odčítanie hodnoty vlhkosti pri 20mm zaborení, čo je hľadaná vlhkosť na medzi tekutosti w_L .



Obrázok 23 - Stanovenie na medzi tekutosti - Vasilievov kužel

4.5 Stanovenie medzi plasticity

Pri tejto skúške dostávame hodnotu kedy zemina prechádza zo stavu plastického do stavu tuhého. Vlhkosť na medzi plasticity w_p zistíme pri jave, kedy sa valček zeminy o priemere 3mm začína drobiť na 8-10mm dlhé kusy.

Postup :

- Rovnako ako pri stanovení medzi tekutosti odoberieme vzorku zeminy presievanú cez sito 0,5mm.
- Zeminu je vložená do misky kde je pridané malé množstvo vody.
- Zeminu s vodou dôkladne premiešame.
- Odoberieme malé množstvo zeminy cca 20g a vyformujeme ju do guľičky.
- Guľičku následne rozdelíme na 8 menších častí, ktoré rozválame na laboratórnom skle do válčeka o priemere 3 mm .
- Pokiaľ sa válček drolí na 8-10 mm dlhé kusy, tak sú vložené do uzatvoriteľnej váženky .
- Z odobratých válčekom zistíme vlhkosť na medzi plasticity w_p a tento postup sa opakuje 2-3x.



Obrázok 24 - Medz plasticity

4.6 Edometrická skúška stlačiteľnosti

Ku zisteniu pretvárných parametrov zeminy, oedometrického modulu pretvárnosti a oedometrického modulu pružnosti využívame laboratórny experiment a to pomocou edometra. Edometrická skúška je využívaná pri výpočte sadania danej vrstvy zeminy, čo slúži pre ďalší návrh v stavebných projektoch. Výsledkom tejto skúšky je grafické riešenie a to oedometrická krivka stlačiteľnosti.

Postup :

- Odobratie vzorku zeminy s úložnou vlhkosťou
- Po odobratí vzorku sa vyhodnocuje vlhkosť zeminy pred skúškou
- Po naplnení oedometrického prstenca zeminou zistíme výšku h vzorku a počiatkový objem V_0 v závislosti na priemere prstenca a výšky vzorku
- Zaťaženie zeminy, prvým stupňom napätia, ktoré odpovedá napätiu v úložnej hĺbke odobratia vzorku
- Po ukončení sadania vzorku zeminy, pod prvým stupňom napätia určíme výšku rekonstituovaného vzorku Δh
- Postupne sa nanášajú ďalšie stupne zaťaženia v časovom rozptyle, a po každom ukončení stlačovania vzorku pod daným zaťažením je získaná hodnota Δh
- Po ukončení zaťažovania a stlačovania vzorku, sú vynesené hodnoty do grafu kde vznikne oedometrická krivka stlačiteľnosti
- Odťaženie vzorku v jednom kroku, kde sú odobraté všetky závažia okrem jedného, ktorý je rovný napätiu v hĺbke odobratia zeminy
- Po časovom rozptyle sa zmeria výška vzorku boplnania zeminy v oedometrickom prístroji
- Vypočítané hodnoty sú vynesené do grafu kde vznikne oedometrická krivka odľahčenia

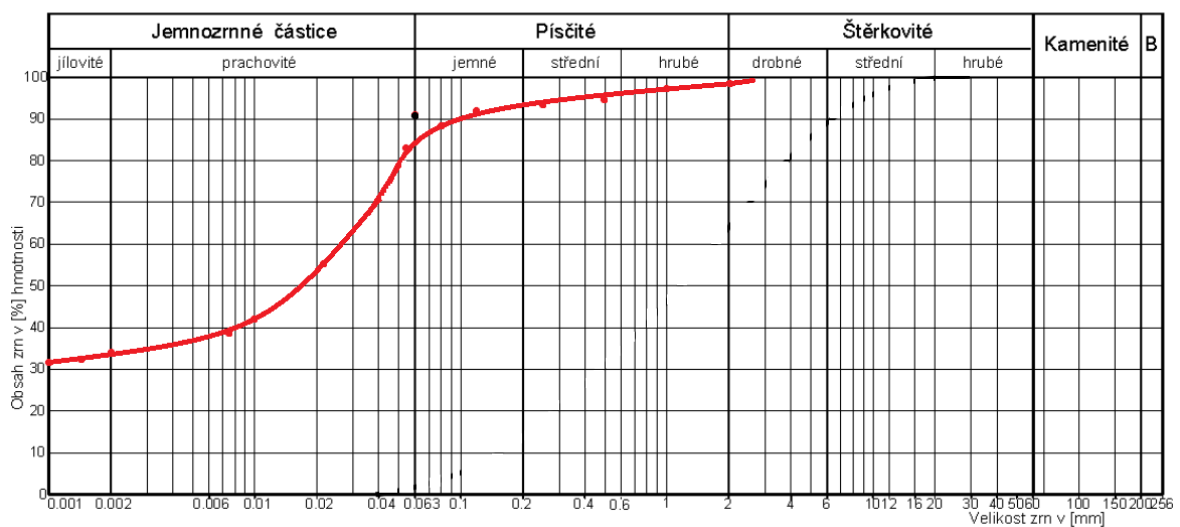


Obrázok 25 - Oedometrické meranie stlačiteľnosti a odľahčenia vzorku

5. Výsledky laboratorných experimentov

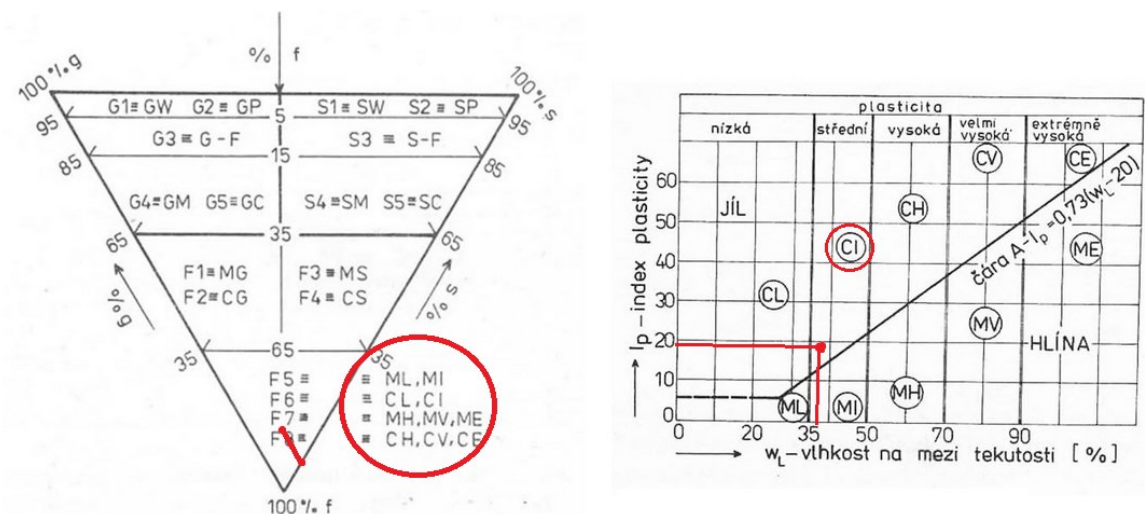
Podľa noriem ČSN 72 1007-4 a ČSN 72 1007-12 boli prevedené skúšky pre určenie zrnitostného percentuálneho zastúpenia pevných častíc v danej zemine, určenia vlhkosti na medzi plasticity a vlhkosti na medzi tekutosti. Po vyhodnotení týchto skúšok boli hodnoty (*prí. PI*) vynesené do podoby grafu - krivka zrnitosti, následne bola zatriedená zemina podľa noriem ČSN 73 1001 (neplatná norma) a EN ISO 14 688.

KŘIVKA ZRNITOSTI ZEMIN



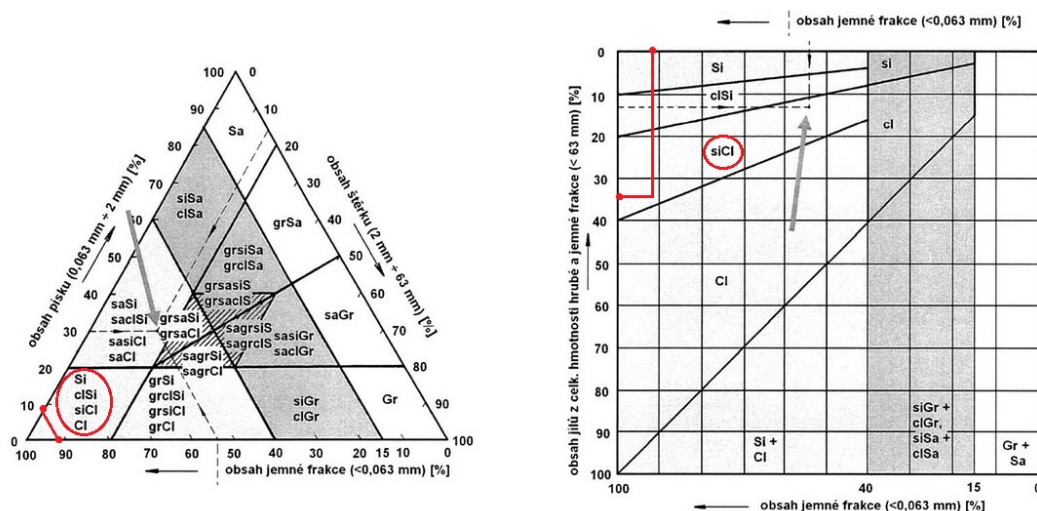
Obrázok 26 - Vyhodnotenie : krivka zrnitosti

Podľa normy ČSN 73 1001 (neplatná norma) bola zatriedená zemina ako *íl so strednou plasticitou*.



Obrázok 27 - Zatriedenie zeminy podľa ČSN 73 1001

Podľa normy EN ISO 14 688 bola zatriedená zemina ako *il hlinitý*.



Obrázok 28 - Zatriedenie zeminy podľa EN ISO 14 688

Po zatriedení zeminy boli vykonané laboratórne experimenty pre určenie hodnôt oedometrického modulu pretvárnosti E_{oed} a určenia súčiniteľa stlačiteľnosti C na vzorkách s rozdielnou vlhkosťou a rozdielným časovým odstupom zaťažovania (*prí. PI - PVII*). Každá skúška bola vykonávaná vždy na dvoch oedometrických prístrojoch s rovnakou vlhkovou zeminou, z dôvodu spresnenia výsledkov a ako kontrola či oedometrické skúšky prebehli bez nejakých porúch prístroja.

Ako príklad slúži obrázok (*obr. 29*) pre znázornenie jednej vykonávanej skúšky na dvoch rovnakých vlhkovných vzorkách, kde vyšli minimálne rozdiely vychádzajúcich hodnôt:

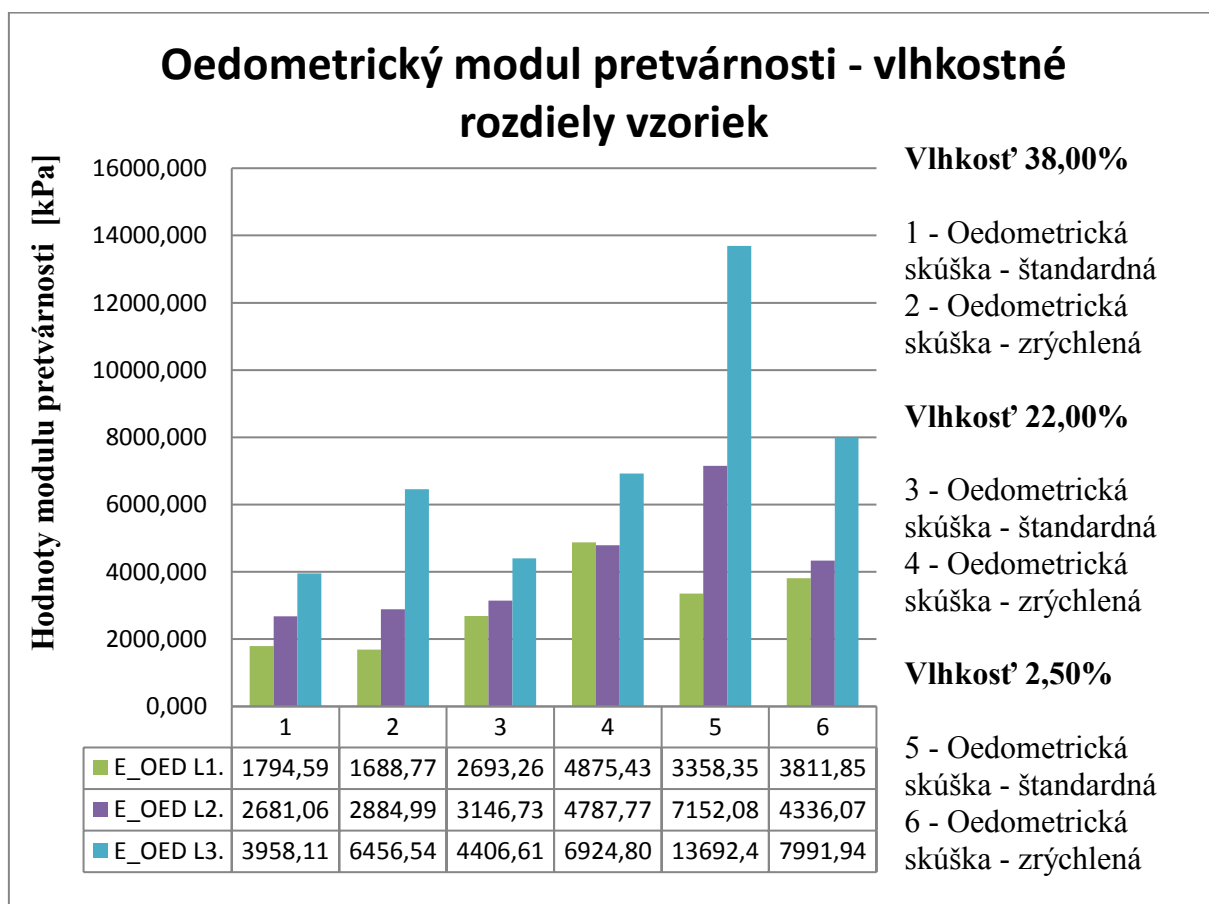
Oedometrický modul pretvárnosti			
Ľavý oedometer		Pravý oedometer	
	[kPa]		[kPa]
Zaťaženie			
E_OED L1.	189,383	E_OED P1.	169,536
E_OED L2.	250,500	E_OED P2.	285,714
E_OED L3.	381,087	E_OED P3.	410,536
Odľahčenie			
E_OED L4.	909,127	E_OED P4.	778,713

Obrázok 29 - Porovnanie hodnôt jednej skúšky na dvoch oedometroch

Výsledné hodnoty oedometrického modulu pretvárnosti sú pre každú skúšku osobitne vypočítané v prílohach (prí. PII - PVII). V grafe (g. 1) je viditeľný rozdiel oedometrického modulu pretvárnosti na základe vlhkostných parametrov, kde pri vlhkosti 38,00%, ktorá je blízka hodnote vlhkosti na medzi tekutosti, sú hodnoty modulu pretvárnosti najmenšie oproti ostatným vlhkostným skupinám. Z tohto hľadiska je možné zhodnotiť fakt, že vlhkosť zeminy ovplyvňuje modul pretvárnosti pri oedometrickej skúške.

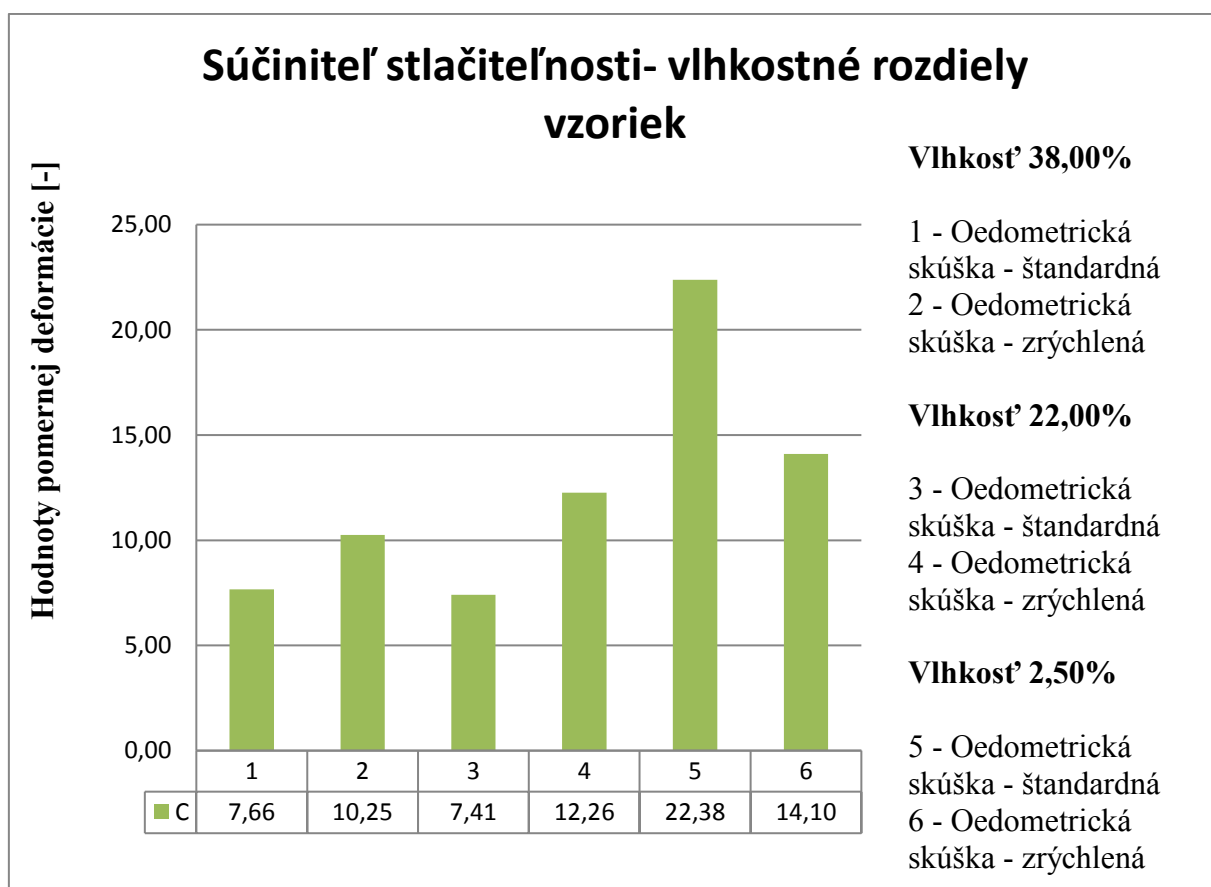
Pri porovnaní štandardnej a zrýchlenej oedometrickej skúšky na oedometrický modul pretvárnosti, pri jednej vlhkostnej skupine, nie je až taký poznateľný a z toho je vyvodené tvrdenie že čas trvania zaťaženia nemá skoro žiaden vplyv na deformáciu zeminy, respektíve má, ale v minimálnych hodnotách.

Tento modul je závislý na rozdieloch pomernej deformácie $\Delta \epsilon$ a rozdieloch efektívneho napätia $\Delta \sigma_{ef}$ ako je znázornené na obrázku (obr. 2). Tieto vypočítané hodnoty nájdeme v prílohach (prí. PII - PVII), ktoré sú určené v troch rozsahoch.



Graf 1 - Výsledok oedometrických skúšok - oedometrický modul pretvárnosti

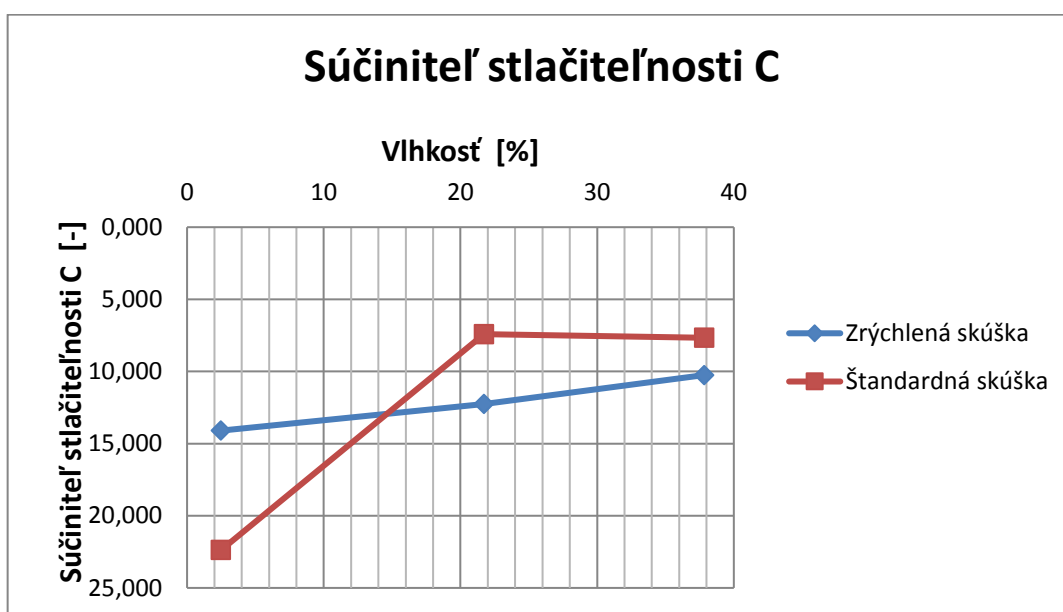
V grafe (g. 1) je porovnanie výsledkov, na základe vlhkosti vzoriek a rýchlosti zaťaženia pri súčiniteľovi stlačiteľnosti C . Porovnanie týchto hodnôt, pri type skúšky alebo vlhkosťnom pomere vzoriek nie je značne veľký. Rozdiely v hodnotách sú poznateľné, ale pohybujú sa v rozmedzí pre typ zeminy skúšaného v tejto bakalárskej práci. Jedná sa o ílovitú až hlinitú zeminu, pre ktorú sú uvedené hodnoty súčiniteľa aj v tabuľke (tab. 3). V tejto tabuľke sa pohybujú hodnoty pre spraš 20-50, hlina 15-25. Výsledkom tohto zistenia súčiniteľa stlačiteľnosti C nie je porovnať s tabuľkovými hodnotami, ktoré slúžia len ako ilustrácia zistenia tohto súčiniteľa v minulosti, ale vyvodiť hodnotu ktorá by bola vhodná pre ďalšie výpočty.



Graf 2 - Výsledok oedometrických skúšok - súčiniteľ stlačiteľnosti

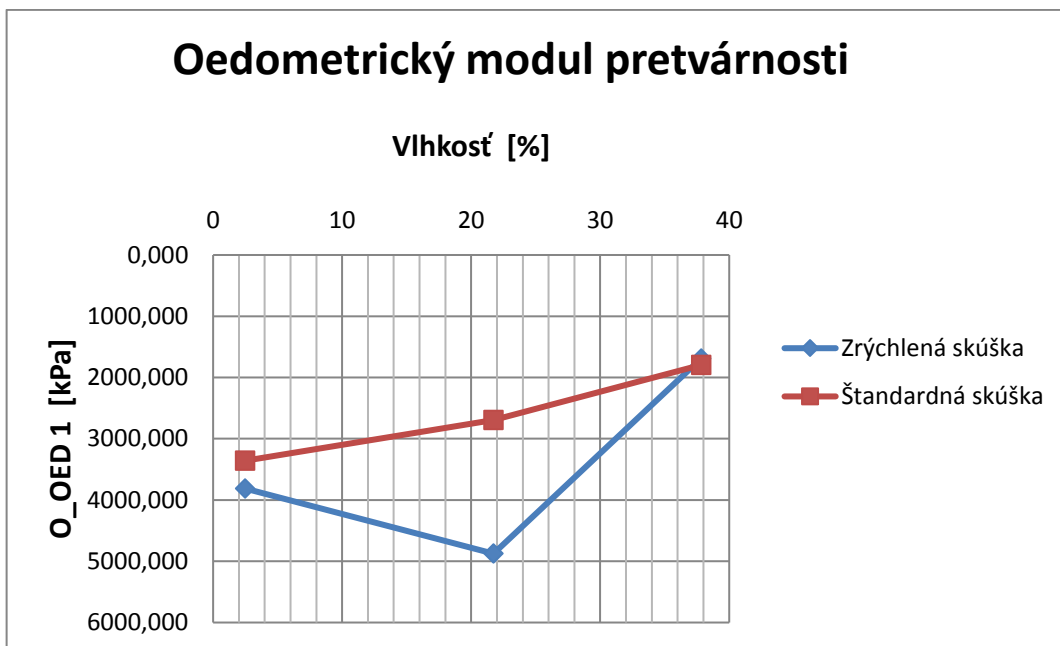
V nasledujúcich grafoch (g. 3 – g. 7) sú vyznačené dve krivky, ktoré znázorňujú typ skúšky. Skúšky prebehli pri štandardnom a zrýchlenom postupe. Na týchto grafoch je možné porovnanie výsledkov oedometrickej skúšky stlačiteľnosti a to pri hodnotách uvedených vyššie v texte a to súčiniteľ stlačiteľnosti C a oedometrický modul pretvárnosti E_{OED} , pri ktorom sú rozdelené grafy na 4 rozsahy zaťažovania vzorky zeminy.

Graf (g. 3) predstavuje porovnanie zistených hodnôt C pri vlhkostných rozdieloch skúšaných vzoriek, na základe typu skúšky. Z tohto grafu je známe, že pri zvyšovaní vlhkosti zeminy klesá hodnota súčiniteľa tlačiteľnosti C , ako aj pri štandardnej skúške tak aj pri zrýchlenom type. Hodnoty boli zisťované pri vlhkosti 2,48%; 21,73% a 37,87% vynesných na vodorovnej osi. Zvislá os predstavuje hodnoty, vypočítané podľa vzorca (14.) v prílohách (prí. PII - PVII) pre súčiniteľ C podľa obrázku (obr. 4). Hodnoty sú určené z logaritmickéj krivky stlačiteľnosti zemín, kde krivka nadobúda lineárnu podobu. Názorné krivky sú vložené v prílohách (prí. PII - PVII).



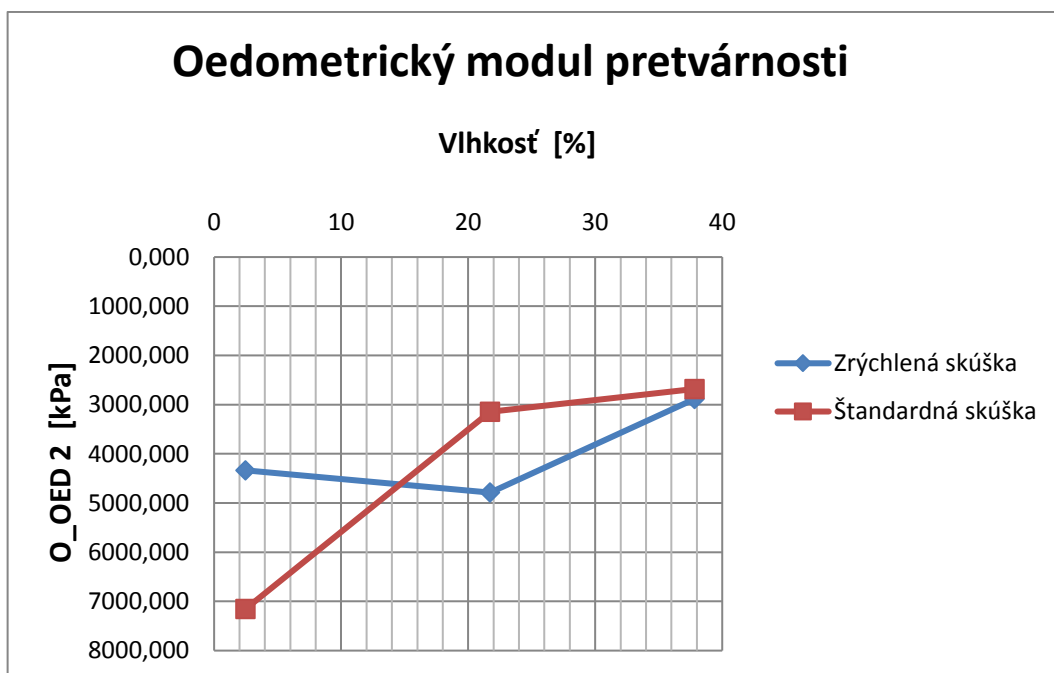
Graf 3 - Súčiniteľ stlačiteľnosti – porovnanie všetkých hodnôt C z oedometrických skúšok

Ďalším grafom je Oedometrický modul pretvárnosti pri prvom rozsahu napätia od rekonštituovaného vzorku (44,758 kPa) po napätie (89,515 kPa). Porovnanie je vytvorené na základe typu spomínaných skúšok a vlhkostných skupín vzoriek. Tieto hodnoty nájdeme v prílohách (prí. PII - PVII) pod názvom E_{OED} L1-P1 a sú vypočítané pomocou vzorca (5). Tieto hodnoty sú porovnané aj s tabuľkovými hodnotami smerových normových charakteristík pre jemnozrnné zeminy CL, CI kde sa hodnoty pohybujú v rozmedzí 1,5-20 MPa. Vypočítané hodnoty v tejto bakalárskej práci sa nachádzajú v rozmedzí tabuľkových hodnôtach.

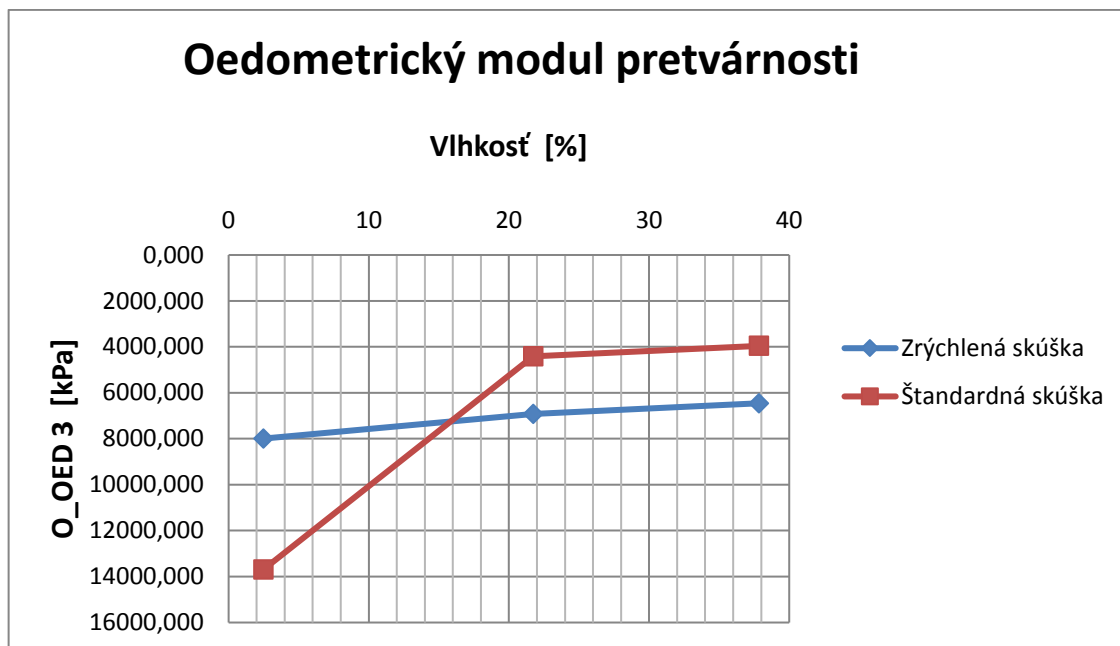


Graf 4 - Oedometrický modul pretvárnosti - porovnanie hodnôt E_OED 1

Nasledujúce grafy sú spôsobom rovnaké ako graf (g. 4), len pre iné rozsahy napätia.

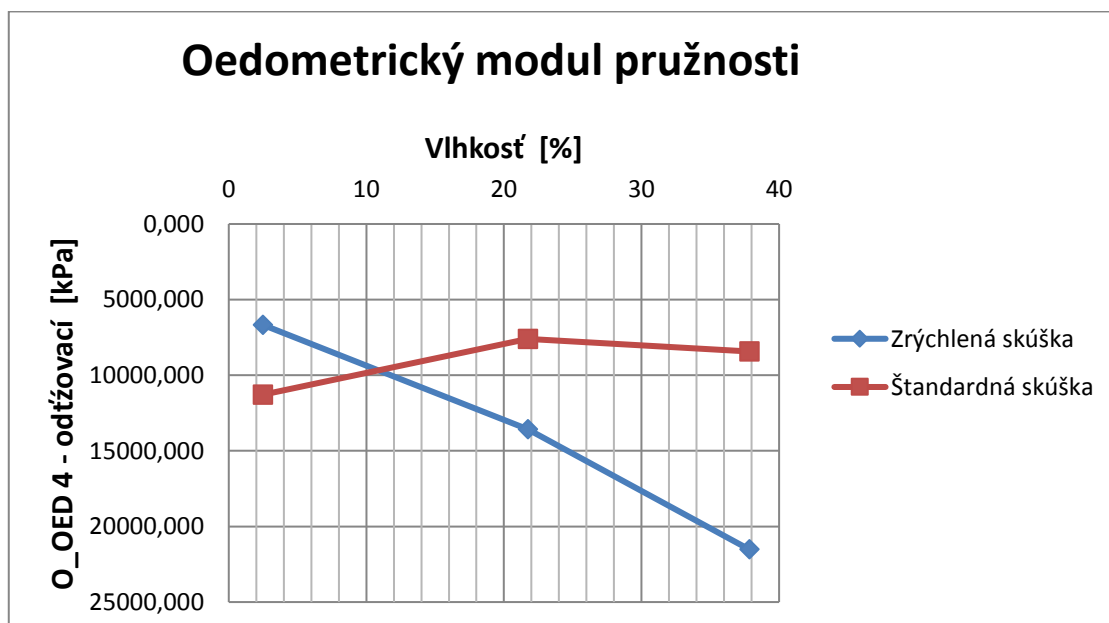


Graf 5 - Oedometrický modul pretvárnosti - porovnanie hodnôt E_OED 2



Graf 6- Oedometrický modul pretvárnosti - porovnanie hodnôt $E_{OED\ 3}$

V nasledujúcom grafe je porovnaný modul pružnosti E_e , ktorý je vypočítaný pomocou vzorca $E_e = \frac{\Delta\sigma_{ef}}{\Delta h} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}$. V tejto bakalárskej práci boli vzorky zeminy odľahčované v jednom cykle a to odobratím všetkých závaží okrem zaťaženia pre vytvorenie rekonštituovanej vzorky. Výsledky sú porovnané rovnako ako pri predošlých grafoch a to na základe vlhkosti vzorku, a typu vykonanej skúšky.



Graf 7 - Oedometrický modul pružnosti - porovnanie hodnôt $E_{OED\ 1}$

6. Záver

Táto bakalárska práca zahrňovala teoretickú časť o stlačiteľnosti a konsolidácii zemín, kde boli popísané faktory, ktoré môžu tieto javy ovplyvniť. Do tejto práce boli vložené grafy, obrázky a tabuľky hodnôt z literatúr, ktoré uľahčujú výpočty pri projektovom návrhu.

Ďalšou časťou je praktická časť, ktorá je tou hlavnou, z dôvodu zistenia vplyvu vlhkosti zeminy a rýchlosti zaťaženia na danú vzorku zeminy. Táto zemina bola definovaná pomocnými skúškami ako hlinitý íl a pre ňu, boli vypočítané hodnoty potrebné pre zistenie či faktory spomínané v tomto odseku, majú nejaký vplyv na pretvorne charakteristiky danej zeminy.

Zemina bola rozdelená na tri hlavné skupiny, ktoré sa líšili vlhkosným pomerom a to : 38,00%, 22,00%, 2,50%. Tieto hodnoty boli zvolené na základe zistených hodnôt vlhkosti na medzi plasticity (22,00%), vlhkosti na medzi tekutosti (38,00%) a úložnej vlhkosti (2,50%). Následne pre každú vlhkosnú skupinu boli vykonané dva typy oedometrických skúšok na základe rýchlosti zaťažovania a to : štandardná (9 dní), zrýchlená (4 dni). Pri oboch postupoch bol zachovaný čas (3 z 9, 3 zo 4 dní), pre dosiahnutie rekonštituovaného vzorku prvotným zaťažením 5,16 kg, ktoré odpovedalo napätiu v hĺbke odobratia zeminy (44,758kPa). Konečné vyvolané napätie na vzorky zeminy, predstavuje hodnotu 357,800 kPa, ktorá je približne o 30% vyššia napätiu, akému má byť zemina v budúcnosti vystavená. Tak ako štandardné skúšky, tak aj zrýchlené boli vykonávané na dvoch oedometrických pokusoch z dôvodu kontroly stlačiteľnosti každej jednej skúšky. Konečný počet skúšok sa rovná počtu 12.

Podstatným zistením, či má vlhkosť zeminy a rýchlosť zaťažovania vzoriek, je, že obidva tieto vplyvy ovplyvňujú stlačiteľnosť zeminy. Avšak hodnoty, ktoré vyšli pri oedometrických experimentoch, priložené ako prílohy bakalárskej práce, ukazujú že nie sú extrémne rozdielne , aby tieto faktory ovplyvňovali zeminu natolko, že by došlo k veľkým deformáciám, napríklad pri vybudovaných konštrukciách na miestach odberu, pre typ zeminy použitej v tejto bakalárskej práci.

Vplyv faktorov spomínaných v tomto závere, boli zhodnotené na :

- súčiniteľ stlačiteľnosti C
- oedometrický modul pretvárnosti E_{oed}

7. Zoznam použitých zdrojov

- [1] ČSN EN ISO 17892-1 *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemín – Část 1 : Stanovení vlhkosti zemín*. Praha : Český normalizační institut, 2005
- [2] ČSN EN ISO 17892-3 *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemín – Část 3 : Stanovení zdánlivé hustoty pevných částic zemín pomocí pyknometru*. Praha : Český normalizační institut, 2005
- [3] ČSN EN ISO 17892-4 *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemín – Část 4 : Stanovení zrnitosti zemín*. Praha : Český normalizační institut, 2005
- [4] ČSN EN ISO 17892-5 *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemín – Část 5 : Stanovení stlačitelnosti zemín v edometru*. Praha : Český normalizační institut, 2005
- [5] ČSN EN ISO 17892-6 *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemín – Část 6 : Kuželová zkouška*. Praha : Český normalizační institut, 2005
- [6] MENCL, Vojtěch. *Mechanika zemín*. Praha : Nakladatelství Československé akademie věd, 1955
- [7] Šimek J., Vaniček I. *Mechanika zemín a zakládání staveb*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1974
- [8] Myslivec A., Eichler J., Jesenák J. *Mechanika zemín*. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1970
- [9] Sarsby R. *Environmental geotechnics*. London : Thomas Telford Ltd, 2000. ISBN 0-7277-2752-4.
- [10] Verruijt A., *Soil mechanics*. Delft : VSSD – Delft academic press, 2012. ISBN 10 90-6562-056-3.
- [11] Head K. H., Epps R. J. *Manual of soil laboratory testing*. Scotland, UK : Whittles Publishing. ISBN 978-1904445-69-2
- [12] Weiglová Kamila. *Mechanika zemín* [online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z : [http://lences.cz/skola/subory/-%20-%20PREDMETY%20%20\(semester%201%20-%2010\)%20-%20-4-semester/BF02%20%20Mechanika%20zemín/Ucební_texty/vlastnosti%20zemín.pdf](http://lences.cz/skola/subory/-%20-%20PREDMETY%20%20(semester%201%20-%2010)%20-%20-4-semester/BF02%20%20Mechanika%20zemín/Ucební_texty/vlastnosti%20zemín.pdf)
- [13] Kořínek Robert. *Mechanika hornin a zemín* [online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z : <http://www.geotechnici.cz/wp-content/uploads/2012/08/MHZ-07.pdf>

8. Zoznam použitých obrázkov, tabuliek a grafov

Zoznam použitých obrázkov

Obrázok 1 - Schéma oedometrického prístroja	13
Obrázok 2 - Oedometrický modul pretvárnosti	15
Obrázok 3 - Krivka pomeru pórov (krivka e -log p)	17
Obrázok 4 – Určenie súčiniteľa stlačiteľnosti C	20
Obrázok 5 - Deformácia vzorky zeminy	21
Obrázok 6 - Oedometer : a) bežný, b) s „voľnými“ prstencami	23
Obrázok 7 - Konsolidácia : a) jednorázová drenáž; b) dvojité drenáže.	27
Obrázok 8 - Konsolidácia zemín : časový priebeh deformácie.	28
Obrázok 9 - Konsolidácia : priebeh efektívneho a neutrálneho napätia pri konsolidácii.	29
Obrázok 10 - Konsolidačné skúšky (D. W. Taylor) : a) bostonský íl; b) chicagský íl.	30
Obrázok 11 - Priebeh konsolidácie : a) závislosť stlačenia na čase; b) závislosť stupňa konsolidácie na čase.	31
Obrázok 12 - Rozdelenie napätia pri konsolidácii	32
Obrázok 13 - Zmena napätia v pôde v závislosti na hĺbke.	33
Obrázok 14 – Prípady č. 4 rozdelenia napätia : a) $v < 1$; b) $v > 1$	34
Obrázok 15 - Diagram závislosti stupňa konsolidácie na časovom faktore.	35
Obrázok 16 - Urýchlenie konsolidácie piesčitými drenážami	36
Obrázok 17 - Diagram závislosti stupňa konsolidácie na časovom faktore pre radiálne odvodnenie.	36
Obrázok 18 - Vplyv teploty na stupeň konsolidácie	37
Obrázok 19 - Príprava odobratého vzorku zeminy pred laboratórnymi skúškami	41
Obrázok 20 - Ukážka zachytenia zŕn na site pri mokrej presievacej skúške	42
Obrázok 21 - Hustomerná skúška	43
Obrázok 22 - Pyktometrická skúška	44
Obrázok 23 - Stanovenie na medzi tekutosti - Vasilievov kužel	45
Obrázok 24 - Medz plasticity	46
Obrázok 25 - Oedometrické meranie stlačiteľnosti a odľahčenia vzorku	47
Obrázok 26 - Vyhodnotenie : krivka zrnitosti	48
Obrázok 27 - Zatriedenie zeminy podľa ČSN 73 1001	48

Obrázok 28 - Zatriedenie zeminy podľa EN ISO 14 688	49
Obrázok 29 - Porovnanie hodnôt jednej skúšky na dvoch oedometroch	49

Zoznam použitých tabuliek

Tabuľka 1- Modul stlačiteľnosti M	14
Tabuľka 2 - Hodnoty Poissonovej konšanty (súčiniteľa) zemín m	18
Tabuľka 3 - Hodnoty súčiniteľa stlačiteľnosti C	19
Tabuľka 4 - Charakteristika zemín koeficientami $\mu; \beta; \xi$	22
Tabuľka 5 - Hodnoty súčiniteľa konsolidácie cv	30
Tabuľka 6- Stupne konsolidácie U_0 pre rôzne časové faktory T	35

Zoznam použitých grafov

Graf 1 - Výsledok oedometrických skúšok - oedometrický modul pretvárnosti.....	50
Graf 2 - Výsledok oedometrických skúšok - súčiniteľ stlačiteľnosti	51
Graf 3 - Súčiniteľ stlačiteľnosti – porovnanie všetkých hodnôt C z oedometrických skúšok .	52
Graf 4 - Oedometrický modul pretvárnosti - porovnanie hodnôt $E_{OED} 1$	53
Graf 5 - Oedometrický modul pretvárnosti - porovnanie hodnôt $E_{OED} 2$	53
Graf 6- Oedometrický modul pretvárnosti - porovnanie hodnôt $E_{OED} 3$	54
Graf 7 - Oedometrický modul pružnosti - porovnanie hodnôt $E_{OED} 1$	54

9. Prílohy

PI – Laboratórne experimenty pre zatriedenie zeminy

PII – Oedometrická skúška stlačiteľnosti : vlhkosť 37,87%; štandardná

PIII – Oedometrická skúška stlačiteľnosti : vlhkosť 37,87%; zrýchlená

PIV - Oedometrická skúška stlačiteľnosti : vlhkosť 21,73%; štandardná

PV - Oedometrická skúška stlačiteľnosti : vlhkosť 21,73%; zrýchlená

PVI - Oedometrická skúška stlačiteľnosti : vlhkosť 2,48%; štandardná

PVII - Oedometrická skúška stlačiteľnosti : vlhkosť 2,48%; zrýchlená

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavebná

Katedra geotechniky a podzemného staviteľstva

**Vplyv vlhkosti a rýchlosti zaťažovania vzorku zeminy pri edometrickej skúške
stlačiteľnosti**

The Influence of Moisture and speed Loading of Soil Sample during Oedometer Test

Prílohy

Študent : Dominik Majtán

Vedúci bakalárskej práce: Ing. Marek Mohyla, Ph.D.

Ostrava 2018

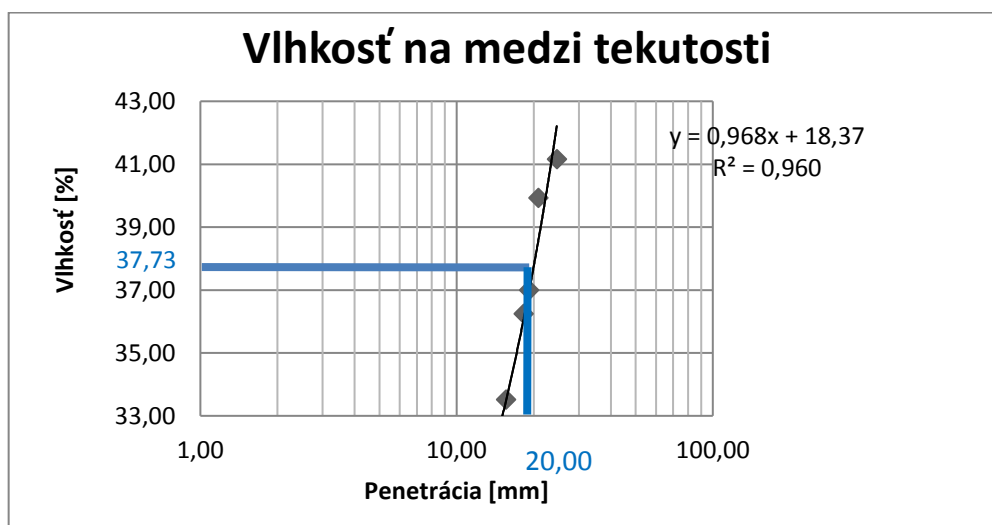
PI – Laboratórne experimenty pre zatriedenie zeminy

Mokrú sitovú presievacia skúška zeminy					
Hmotnosť navážky		500 [g]			
Veľkosť sita [mm]	Prázdne sito [g]	Sito + zemina [g]	Zemina na site [g]	Zemina na site [%]	Podsité [%]
2,000	1146,79	1149,23	2,44	0,51	99,49
1,000	1110,13	1118,59	8,46	1,77	97,72
0,500	1033,66	1044,45	10,79	2,25	95,47
0,250	1184,87	1196,32	11,45	2,39	93,082
0,125	914,53	920,77	6,24	1,30	91,78
0,063	1115,40	1119,80	4,40	0,92	90,86
<0,063	1223,32	1658,55	435,23	90,86	0,00
Suma			479,01	100,00	

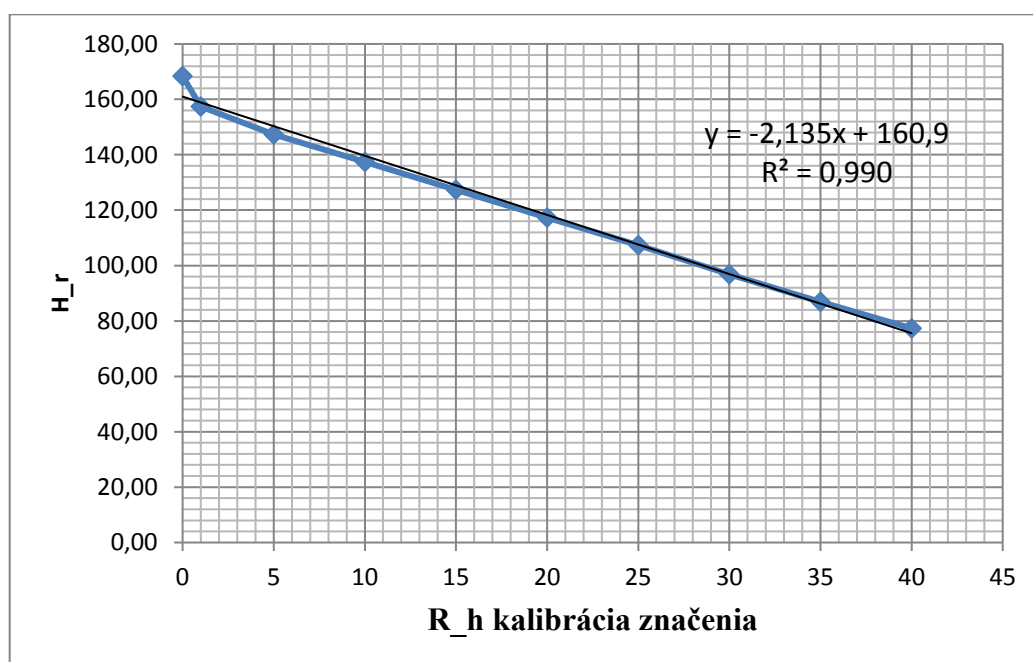
Pyktometrická skúška			
Zložky	Hmotnosť	[g]	
Pyktometer 5	m_1	26,76	
Pyktometer + zemina	m_2	45,21	
Pyktometer + zemina + destilovaná voda	m_3	90,33	
Pyktometer + destilovaná voda	m_4	78,83	
Hustota destilovanej vody	[mPa*s]	Hustota pevných častíc	[g/cm ³]
	1,002		
Objem destilovanej vody	[g/cm ³]		2,659
	51,963		

Vlhkosť na medzi plasticity					
Číslo skúšky	Váženka	Váženka + mokrý materiál	Váženka + vysušený materiál	Vlhkosť	Vlhkosť na medzi plasticity
	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]
1.	23,50	32,15	30,87	17,37	18,80
	10,31	16,99	15,97	18,02	
2.	23,50	28,25	27,55	17,28	
	10,09	14,73	14,05	17,17	
3.	18,43	24,44	23,47	19,25	
	18,99	24,52	23,46	23,71	

Vlhkosť na medzi tekutosti							
Číslo testu	Prvé odčítanie	Druhé odčítanie	výslednica zaborenia	Priemer	Vlhkosť		
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]		[g]	[%]
1.	2,30	17,70	15,40	15,60	váženka	15,93	33,51
	2,20	18,30	16,10		v. + vlhká zemina	35,61	
	1,90	17,20	15,30		v. + vysušená zemina	30,67	
2.	2,00	20,70	18,70	18,23	váženka	15,04	36,25
	1,70	19,90	18,20		v. + vlhká zemina	33,91	
	1,60	19,40	17,80		v. + vysušená zemina	28,89	
3.	1,70	20,70	19,00	19,20	váženka	14,99	37,00
	1,80	21,50	19,70		v. + vlhká zemina	35,06	
	2,00	20,90	18,90		v. + vysušená zemina	29,64	
4.	2,00	22,90	20,90	20,83	váženka	15,92	39,93
	1,40	22,30	20,90		v. + vlhká zemina	35,65	
	2,40	23,10	20,70		v. + vysušená zemina	30,02	
5.	1,50	25,50	24,00	24,60	váženka	17,85	41,16
	1,90	27,40	25,50		v. + vlhká zemina	37,40	
	2,40	26,70	24,30		v. + vysušená zemina	31,70	
						Vlhkosť na medzi tekutosti	(%)
							37,73



Hustomerná skúška						
Kalibrácia hustomeru			R_h kalibrácia značenia	d_i	H	H_r
				[mm]	[mm]	[mm]
Hmotnosť hustomeru	57,83	[g]	40	10,00	23,00	77,33
Objem hustomeru	60,00	[ml]	35	19,50	32,50	86,83
Vzdialenosť rysky 100 a 1000 ml. na valci	320,00	[mm]	30	29,50	42,50	96,83
Vzdialenosť krku baňky hustomeru k 1. značke	13,00	[mm]	25	40,00	53,00	107,33
Vzdialenosť krčku a hrotu baňky	130,00	[mm]	20	50,00	63,00	117,33
Čítanie v referenčnom roztoku	-2,00	[g/ml]	15	60,00	73,00	127,33
Hmotnosť použitej vzorky	[g]		10	70,00	83,00	137,33
	41,1		5	80,00	93,00	147,33
Hmotnosť prepadu častíc <0,063	[g]		1	90,00	103,00	157,33
m_s	435,230		0	101,00	114,00	168,33
Hustota pevných častíc	[g/cm ³]					
Ro_S	2,659					



Výpočet percentuálneho podielu zŕn pod <0,063mm

Čas	R_h'	t	H_r	Dyn. viskozita	d_i	R_d	K
[min]		[°C]	[mm]	[mPa*s]	[mm]		[%]
0,25	27,0	20,5	103,26	1,002	0,0874	29,0	89,35
0,50	26,5	20,5	104,32	1,002	0,0621	28,5	81,32
1,00	26,0	20,5	105,39	1,002	0,0441	28,0	71,95
2,00	23,5	20,5	110,73	1,002	0,0320	25,5	63,42
4,00	20,0	20,5	118,20	1,002	0,0234	22,0	56,06
8,00	15,0	20,5	128,88	1,002	0,0173	17,0	51,52
15,00	12,0	20,5	135,28	1,002	0,0129	14,0	45,69
30,00	8,5	20,5	142,75	1,002	0,0094	10,5	42,17
60,00	6,5	20,5	147,02	1,002	0,0067	8,5	39,33
120,00	5,0	20,5	150,23	1,002	0,0048	7,0	36,99
240,00	3,0	20,5	154,50	1,002	0,0034	5,0	35,32
960,00	1,5	20,5	157,70	1,002	0,0017	3,5	34,14
1440,00	1,2	20,5	158,34	1,002	0,0014	3,2	33,07
2880,00	1,0	20,5	158,77	1,002	0,0010	3,0	32,07

PII – Oedometrická skúška stlačiteľnosti : vlhkosť 37,87%; štandardná

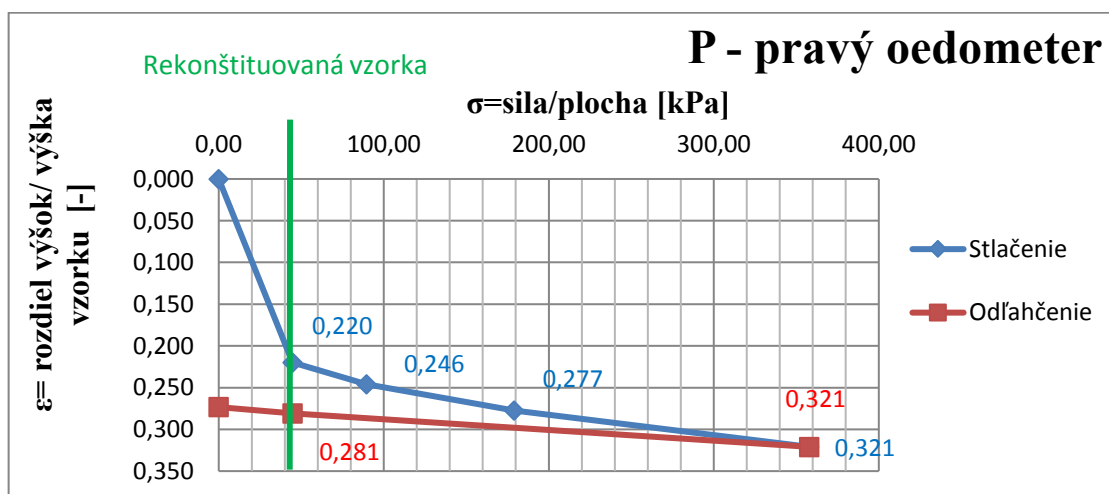
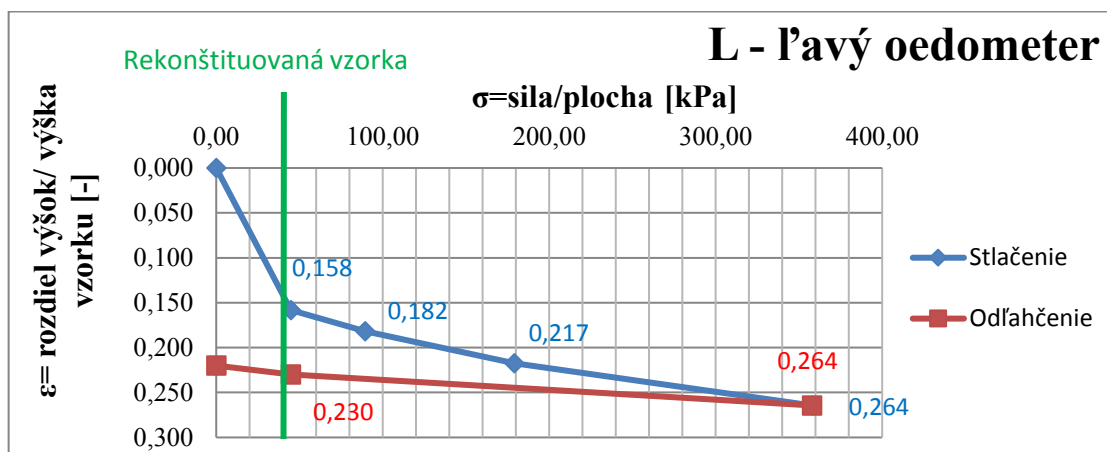
Vlhkosť pred a po oedometrickej skúške				
doba skúšky	č. váženky	váženka [g]	váženka + vlhká zemina [g]	váženky + vysušená zemina [g]
Pred skúškou (gramáž) - vlhká zemina	152.	16,04	42,11	35,08
	101.	17,29	35,73	30,73
Po skúške (gramáž) - vysušená zemina	152.	16,04	41,24	36,78
	101.	17,29	40,81	36,65
Hmotnosti	č. váženky	doba skúšky	zemina [g]	zemina [g]
Hmotnosť vlhkej zeminy : m	152.	Pred skúškou	26,07	
	101.		18,44	
	152.	Po skúške	25,20	
	101.		23,52	
Hmotnosť vysušenej zeminy : m_d	152.	Pred skúškou		19,04
	101.			13,44
	152.	Po skúške		20,74
	101.			19,36
Vlhkosť		Pred skúškou [%]	Po skúške [%]	
w = ((m-m_d)/m_d) * 100		36,92	21,50	
		37,20	21,49	
Priemer		37,062	21,50	

Vstupné hodnoty		
Výška vzorku		[m]
	h ₀	0,030
Polomer vzorku	r ₀	0,060
Plocha vzorku		[m ²]
	A ₀	0,011310
Objem vzorku		[m ³]
	V ₀	0,0003
Gravitačné zrýchlenie		[ms ⁻²]
	g	9,810

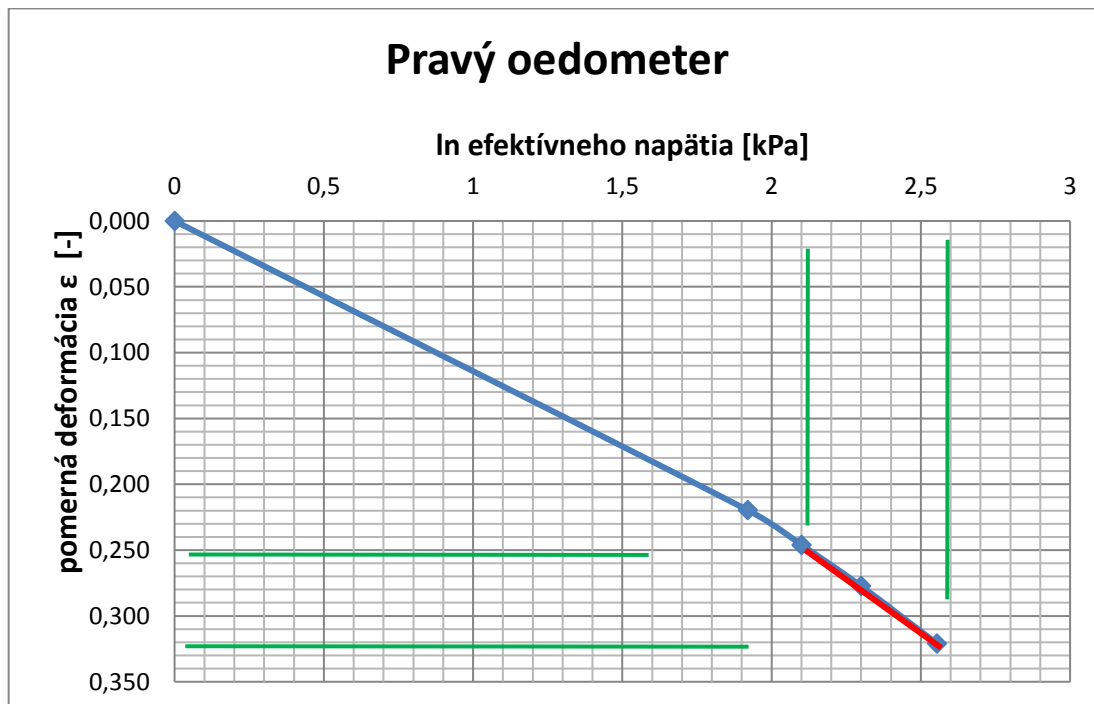
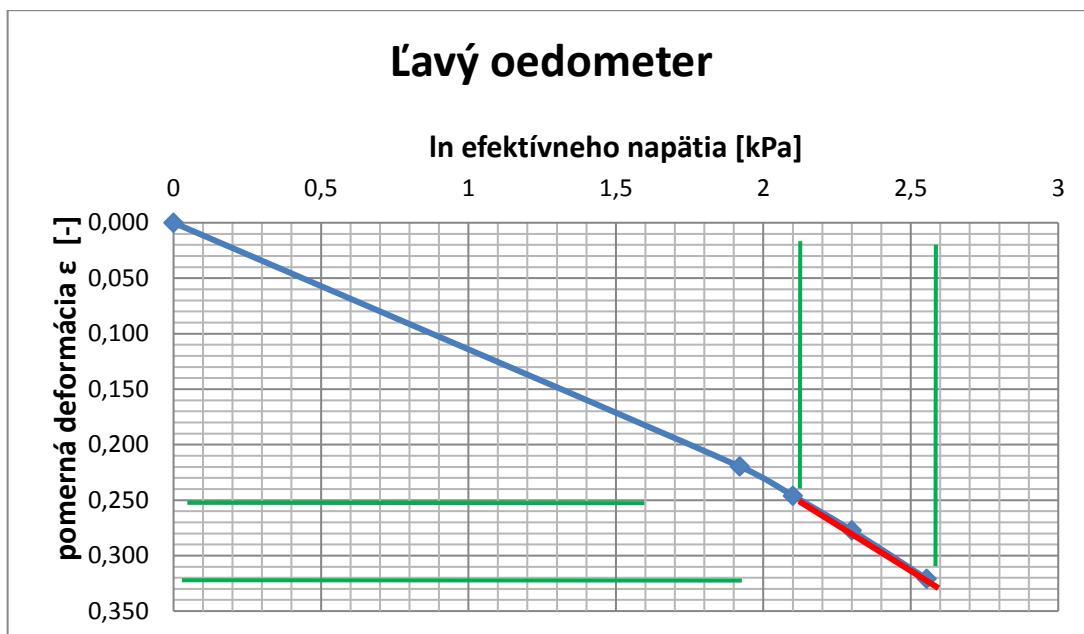
Hodnota konsolidačného napätia				
Stupne zaťaženia	[kg]	F [N]	F [kN]	σ [kPa]
0. stupeň	0	0,000	0,000	0,000
1. rekonstituovaná vzorka	5,160	506,196	0,506	44,758
2. stupeň zaťaženia + 5,16	10,320	1012,392	1,012	89,515
3. stupeň zaťaženia + 10,31	20,630	2023,803	2,024	178,943
4. stupeň zaťaženia + 20,62	41,250	4046,625	4,047	357,800
5. stupeň odťaženia (- 36,09kg)	5,160	506,196	0,506	44,758

Výšky vzorku po zaťažovacom a odťažovacom procese		
Výšky vzorku počas oedometrickej skúšky	L	P
	[mm]	[mm]
Výška neporušeného vzorku	30	30
1. zaťažovací stav - rekonštituovaný (5,16kg) - rozdiel	4,743	6,59
Výška rekonštituovaného vzorku	25,257	23,41
2. zaťažovací stav (+5,16kg) - rozdiel	5,452	7,382
Výška stlačeného vzorku	24,548	22,618
3. zaťažovací stav (+10,31kg) - rozdiel	6,523	8,321
Výška stlačeného vzorku	23,477	21,679
4. zaťažovací stav (+20,62kg) - rozdiel	7,931	9,628
Výška stlačeného vzorku	22,069	20,372
5. odťažovací stav (-36,09kg) - rozdiel po celú dobu odťažovania	6,898	8,422
Výška vzorku po odťažení	23,102	21,578

Hodnota pomernej deformácie							
Ľavý oedometer		Pravý oedometer		Ľavý oedometer		Pravý oedometer	
Rozdiel výšky	[mm]	Rozdiel výšky	[mm]	Pomerná deformácia		Pomerná deformácia	
h	30,000	h	30,000				
Zaťaženie							
h_0.0	0,000	h_0.0	0,000	ε_0.0	0,000	ε_0.0	0,000
h_0.1	4,743	h_0.2	6,590	ε_0.1	0,158	ε_0.2	0,220
h_1.1	5,452	h_1.2	7,382	ε_1.1	0,182	ε_1.2	0,246
h_2.1	6,523	h_2.2	8,321	ε_2.1	0,217	ε_2.2	0,277
h_3.1	7,931	h_3.2	9,628	ε_3.1	0,264	ε_3.2	0,321
Odtáženie							
h_3.1	7,931	h_3.2	9,628	ε_3.1	0,264	ε_3.2	0,321
h_4.1	6,898	h_4.2	8,422	ε_4.1	0,230	ε_4.2	0,281



Grafy k určeniu súčiniteľa stlačiteľnosti C , pre výpočet je braný iba lineárny sklon krivky (červená úsečka), ktorý je ohraničený zelenými úsečkami.



PIII – Oedometrická skúška stlačiteľnosti : vlhkosť 37,87%; zrýchlená

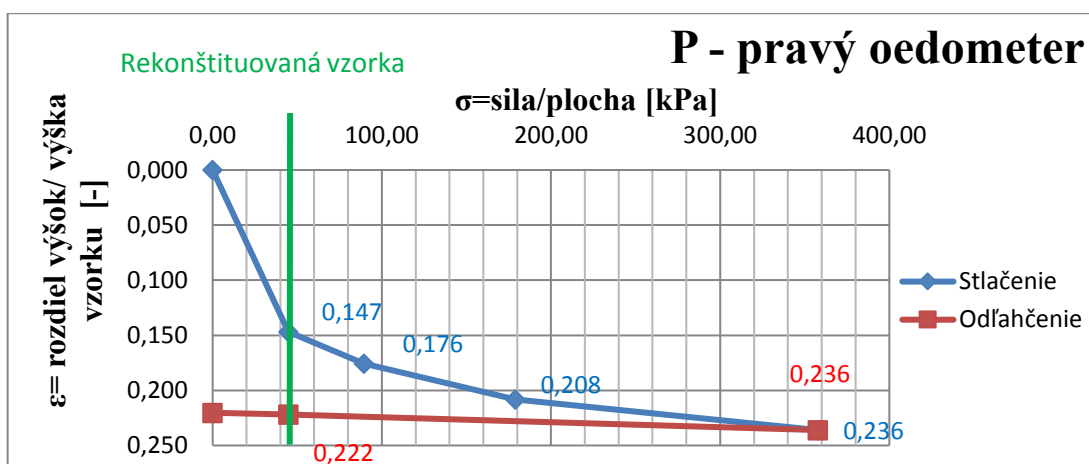
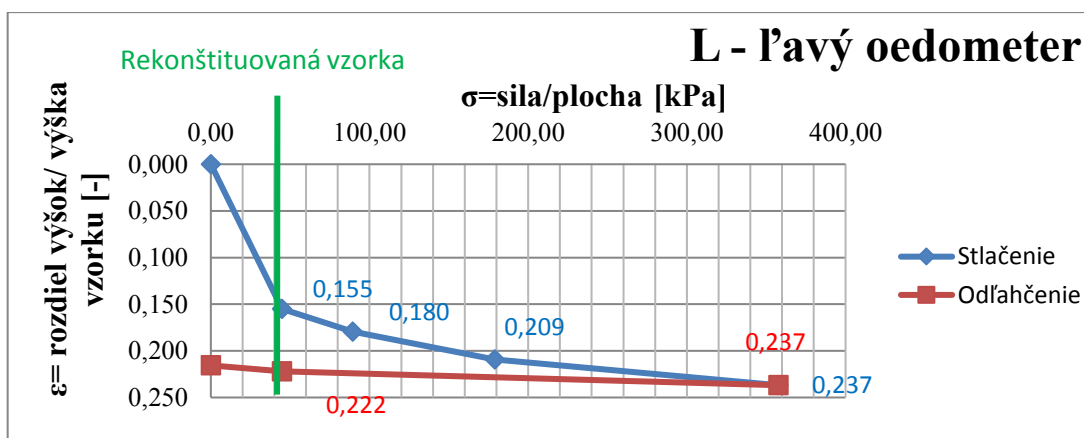
Vlhkosť pred a po oedometrickej skúške				
Doba skúšky	č. váženky	váženka [g]	váženka + vlhká zemina [g]	váženky + vysušená zemina [g]
Pred skúškou (gramáž) - vlhká zemina	93.	15,48	47,80	38,94
	94.	15,03	48,91	39,60
Po skúške (gramáž) - vysušená zemina	84.	15,04	40,45	35,97
	94.	15,03	41,74	36,98
	č. váženky	doba skúšky	zemina [g]	zemina [g]
Hmotnosť vlhkej zeminy : m	93.	Pred skúškou	32,32	
	94.		33,88	
	84.	Po skúške	25,41	
	94.		26,71	
Hmotnosť vysušenej zeminy : m_d	93.	Pred skúškou		23,46
	94.			24,57
	84.	Po skúške		20,93
	94.			21,95
Vlhkosť		Pred skúškou [%]	Po skúške [%]	
w = ((m-m_d)/m_d) * 100		37,76	21,40	
		37,89	21,68	
Priemer		37,82	21,54	

Vstupné hodnoty		
Výška vzorku		[m]
	h ₀	0,032
Polomer vzorku	r ₀	0,060
Plocha vzorku		[m ²]
	A ₀	0,011310
Objem vzorku		[m ³]
	V ₀	0,0004
Gravitačné zrýchlenie		[ms ⁻²]
	g	9,810

Hodnota konsolidačného napätia				
Stupne zaťaženia	[kg]	F [N]	F [kN]	σ [kPa]
0. stupeň	0	0,00	0,000	0,000
1. rekonstituovaná vzorka	5,16	506,196	0,506	44,758
2. stupeň zaťaženia + 5,16	10,32	1012,392	1,012	89,515
3. stupeň zaťaženia + 10,31	20,63	2023,803	2,024	178,943
4. stupeň zaťaženia + 20,62	41,25	4046,625	4,047	357,800
5. stupeň odťaženia (-36,09kg)	5,16	506,196	0,506	44,758

Výšky vzorku po zaťažovaní a odťažovaní procese		
Výšky vzorku počas oedometrickej skúšky	L	P
	[mm]	[mm]
Výška neporušeného vzorku	32	32
1. zaťažovací stav - rekonstituovaný (5,16kg) - rozdiel	4,96	4,70
Výška rekonstituovaného vzorku	27,03	27,29
2. zaťažovací stav (+5,16kg) - rozdiel	5,74	5,62
Výška stlačeného vzorku	26,25	26,37
3. zaťažovací stav (+10,31kg) - rozdiel	6,69	6,65
Výška stlačeného vzorku	25,30	25,34
4. zaťažovací stav (+20,62kg) - rozdiel	7,57	7,55
Výška stlačeného vzorku	24,421	24,448
5. odťažovací stav (-36,09kg) - rozdiel po celú dobu odťažovania	7,09	7,10
Výška vzorku po odťažení	24,90	24,89

Hodnota pomernej deformácie							
Ľavý oedometer		Pravý oedometer		Ľavý oedometer		Pravý oedometer	
Rozdiel výšky	[mm]	Rozdiel výšky	[mm]	Pomerná deformácia		Pomerná deformácia	
h	32,00	h	32,00				
Zaťaženie							
h_0.0	0,00	h_0.0	0,00	ε_0.0	0,000	ε_0.0	0,000
h_0.1	4,96	h_0.2	4,70	ε_0.1	0,155	ε_0.2	0,147
h_1.1	5,74	h_1.2	5,62	ε_1.1	0,180	ε_1.2	0,176
h_2.1	6,69	h_2.2	6,65	ε_2.1	0,209	ε_2.2	0,208
h_3.1	7,57	h_3.2	7,55	ε_3.1	0,237	ε_3.2	0,236
Odťaženie							
h_3.1	7,57	h_3.2	7,55	ε_3.1	0,237	ε_3.2	0,236
h_4.1	7,09	h_4.2	7,10	ε_4.1	0,222	ε_4.2	0,222

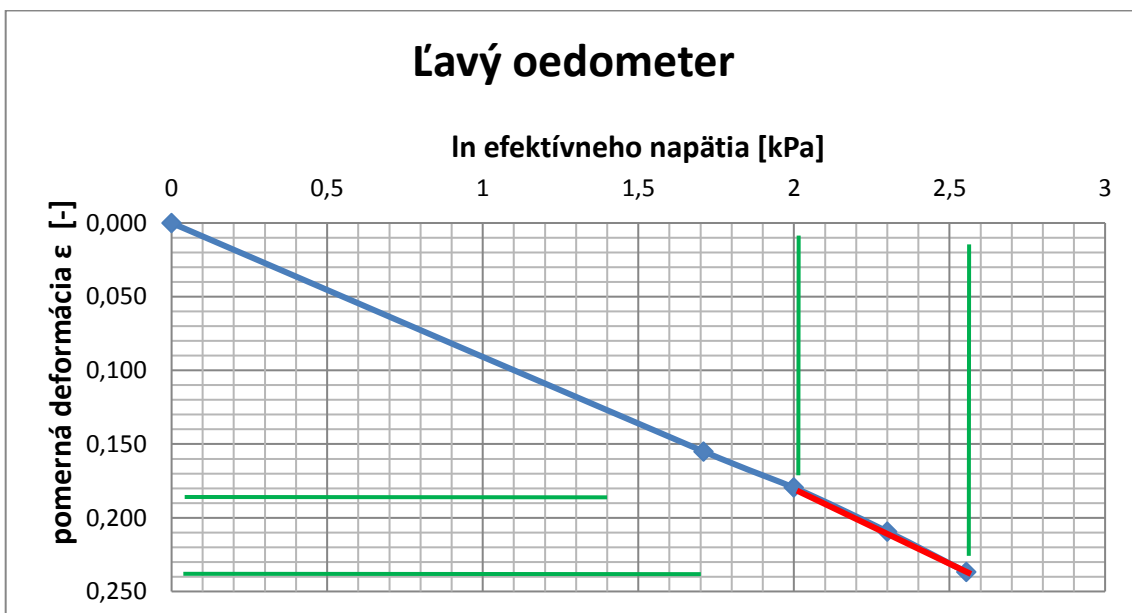
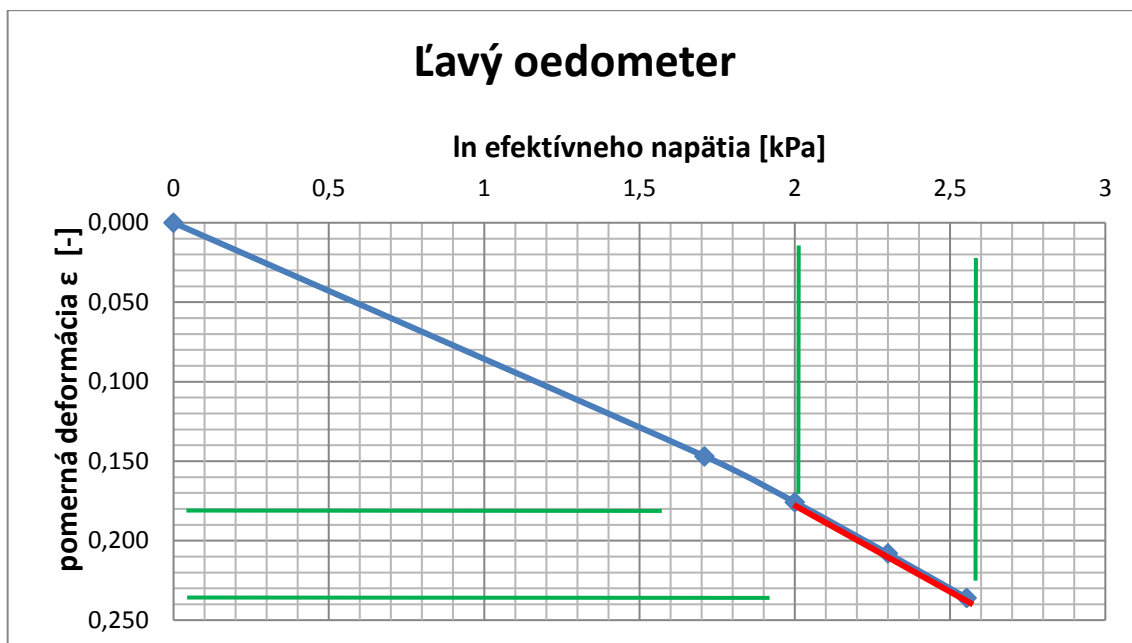


Oedometrický modul pretvárnosti					
Rozdiel deformačného napätia [kPa]		Rozdiel ε - ľavý oed. [-]		Rozdiel ε - pravý oed. [-]	
Zaťaženie					
σ_1	44,758	ε_1	0,024	ε_1	0,029
σ_2	89,428	ε_2	0,030	ε_2	0,032
σ_3	178,857	ε_3	0,028	ε_3	0,028
Odťaženie					
σ_4	-313,043	ε_4	-0,015	ε_4	-0,014

Oedometrický modul pretvárnosti			
Ľavý oedometer		Pravý oedometer	
	[kPa]		[kPa]
Zaťaženie			
E_OED L1.	1829,172	E_OED P1.	1548,369
E_OED L2.	2999,694	E_OED P2.	2770,288
E_OED L3.	6503,881	E_OED P3.	6409,200
Odľahčenie			
E_e L4.	20826,122	E_e P4.	22211,452

Súčiniteľ stlačiteľnosti C							
Rozdiel deformačného napätia [kPa]				Rozdiel ε - ľavý oed. [-]		Rozdiel ε - pravý oed. [-]	
L = $\sigma_4 - \sigma_2$	268,285	P = $\sigma_4 - \sigma_2$	268,285	$\varepsilon_4 - \varepsilon_2$	0,057	$\varepsilon_4 - \varepsilon_2$	0,060
Hodnoty pre zistenie súčiniteľa stlačiteľnosti C							
$\sigma_{ef_a} / \sigma_{ef_b}$				$\ln(\sigma_{ef_a} / \sigma_{ef_b})$			
[kPa]				[kPa]			
L = σ_4 / σ_2	3,997	P = σ_4 / σ_2	3,997	L = $\ln(\sigma_4 / \sigma_2)$	0,602	P = $\ln(\sigma_4 / \sigma_2)$	0,602
Súčiniteľ stlačiteľnosti C							
Ľavý oedometer				Pravý oedometer			
[-]				[-]			
C_L	10,499			C_P	9,998		
Výsledný súčiniteľ C [-]							
10,249							

Grafy k určeniu súčiniteľa stlačiteľnosti C , pre výpočet je braný iba lineárny sklon krivky (červená úsečka), ktorý je ohraničený zelenými úsečkami.



P IV - Oedometrická skúška stlačiteľnosti : vlhkosť 21,73%; štandardná

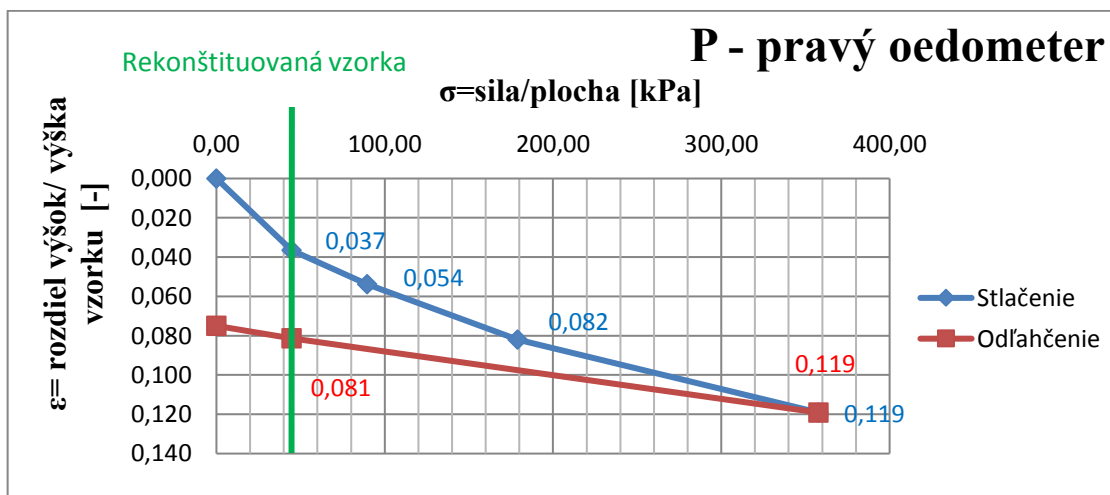
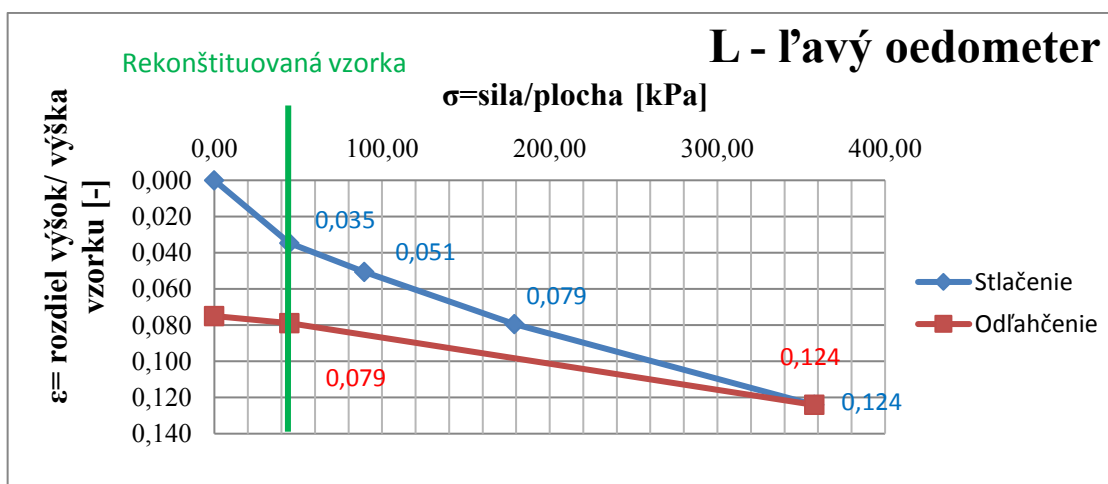
Vlhkosť pred a po oedometrickej skúške				
Doba skúšky	č. váženky	váženka [g]	váženka + vlhká zemina [g]	váženky + vysušená zemina [g]
Pred skúškou (gramáž) - vlhká zemina	97.	16,72	35,67	32,31
	96.	17,09	33,61	30,64
Po skúške (gramáž) - vysušená zemina	2.	19,18	157,60	136,42
	3.	31,19	272,29	234,68
	č. váženky	doba skúšky	zemina [g]	zemina [g]
Hmotnosť vlhkej zeminy : m	97.	Pred skúškou	18,95	
	96.		16,52	
	2.	Po skúške	138,42	
	3.		241,10	
Hmotnosť vysušenej zeminy : m_d	97.	Pred skúškou		15,59
	96.			13,55
	2.	Po skúške		117,24
	3.			203,49
Vlhkosť		Pred skúškou [%]	Po skúške [%]	
w = ((m-m_d)/m_d) * 100		21,55	18,06	
		21,91	18,48	
Priemer		21,73	18,27	

Vstupné hodnoty		
Výška vzorku		[m]
	h ₀	0,032
Polomer vzorku	r ₀	0,060
Plocha vzorku		[m ²]
	A ₀	0,011310
Objem vzorku		[m ³]
	V ₀	0,0004
Gravitačné zrýchlenie		[ms ⁻²]
	g	9,810

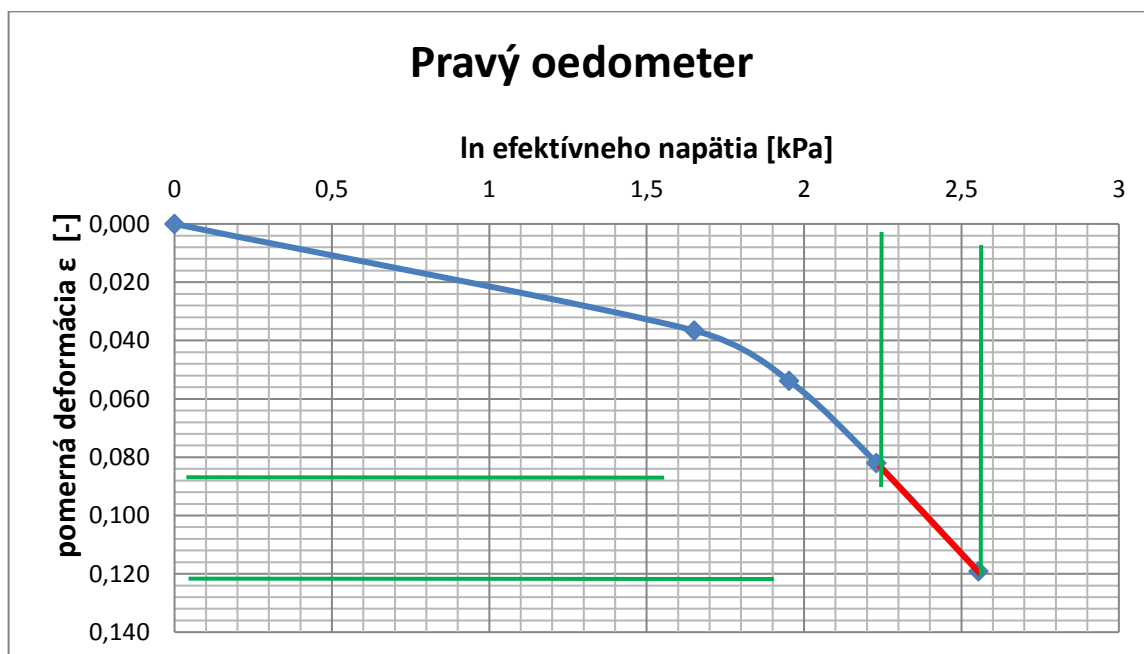
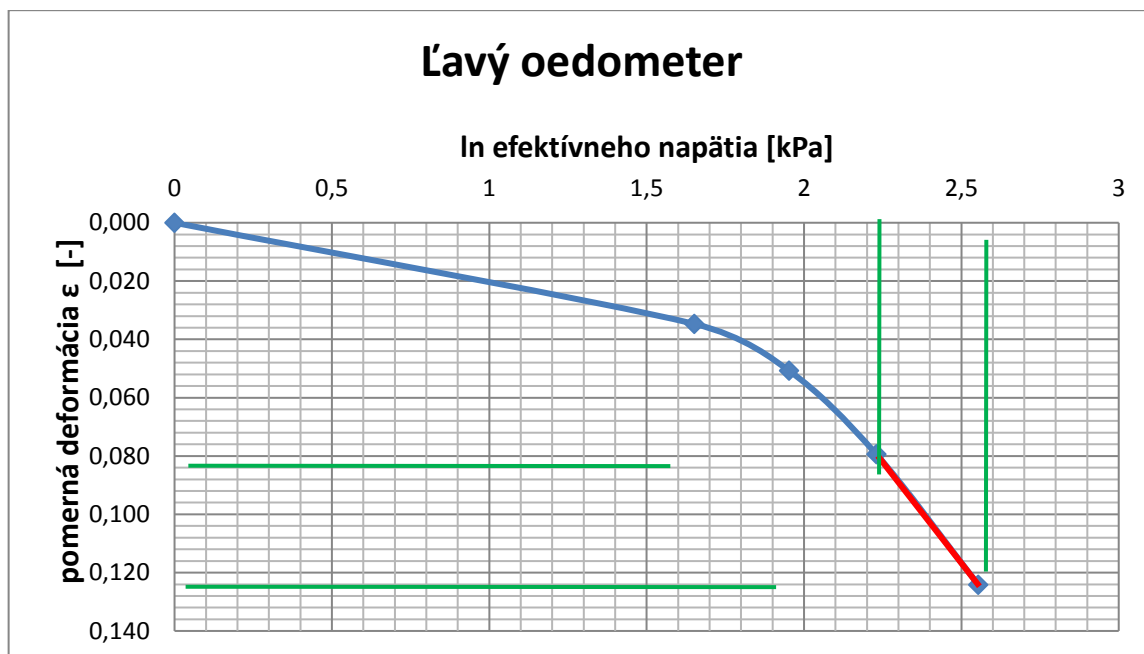
Hodnota konsolidačného napätia				
Stupne zaťaženia	[kg]	F [N]	F [kN]	σ [kPa]
0. stupeň	0	0,00	0,000	0,000
1. rekonstituovaná vzorka	5,16	506,196	0,506	44,758
2. stupeň zaťaženia + 5,16	10,32	1012,392	1,012	89,515
3. stupeň zaťaženia + 10,31	20,63	2023,803	2,024	178,943
4. stupeň zaťaženia + 20,62	41,25	4046,625	4,047	357,800
5. stupeň odťaženia (-36,09kg)	5,16	506,196	0,506	44,758

Výšky vzorku po zaťažovaní a odťažovaní procese		
Výšky vzorku počas oedometrickej skúšky	L	P
	[mm]	[mm]
Výška neporušeného vzorku	32	32
1. zaťažovací stav - rekonstituovaný (5,16kg) - rozdiel	1,11	1,17
Výška rekonstituovaného vzorku	30,89	30,83
2. zaťažovací stav (+5,16kg) - rozdiel	1,62	1,72
Výška stlačeného vzorku	30,37	30,27
3. zaťažovací stav (+10,31kg) - rozdiel	2,54	2,62
Výška stlačeného vzorku	29,45	29,37
4. zaťažovací stav (+20,62kg) - rozdiel	3,97	3,81
Výška stlačeného vzorku	28,02	28,18
5. odťažovací stav (-36,09kg) - rozdiel po celú dobu odťažovania	2,52	2,60
Výška vzorku po odťažení	29,47	29,39

Hodnota pomernej deformácie							
Ľavý oedometer		Pravý oedometer		Ľavý oedometer		Pravý oedometer	
Rozdiel výšky	[mm]	Rozdiel výšky	[mm]	Pomerná deformácia		Pomerná deformácia	
h	32,00	h	32,00				
Zaťaženie							
h_0.0	0,00	h_0.0	0,00	ε_0.0	0,000	ε_0.0	0,000
h_0.1	1,11	h_0.2	1,17	ε_0.1	0,035	ε_0.2	0,037
h_1.1	1,62	h_1.2	1,72	ε_1.1	0,051	ε_1.2	0,054
h_2.1	2,54	h_2.2	2,62	ε_2.1	0,079	ε_2.2	0,082
h_3.1	3,97	h_3.2	3,81	ε_3.1	0,124	ε_3.2	0,119
Odťaženie							
h_3.1	3,97	h_3.2	3,81	ε_3.1	0,124	ε_3.2	0,119
h_4.1	2,52	h_4.2	2,60	ε_4.1	0,079	ε_4.2	0,081



Grafy k určeniu súčiniteľa stlačiteľnosti C , pre výpočet je braný iba lineárny sklon krivky (červená úsečka), ktorý je ohraničený zelenými úsečkami.



P V - Oedometrická skúška stlačiteľnosti : vlhkosť 21,73%; zrýchlená

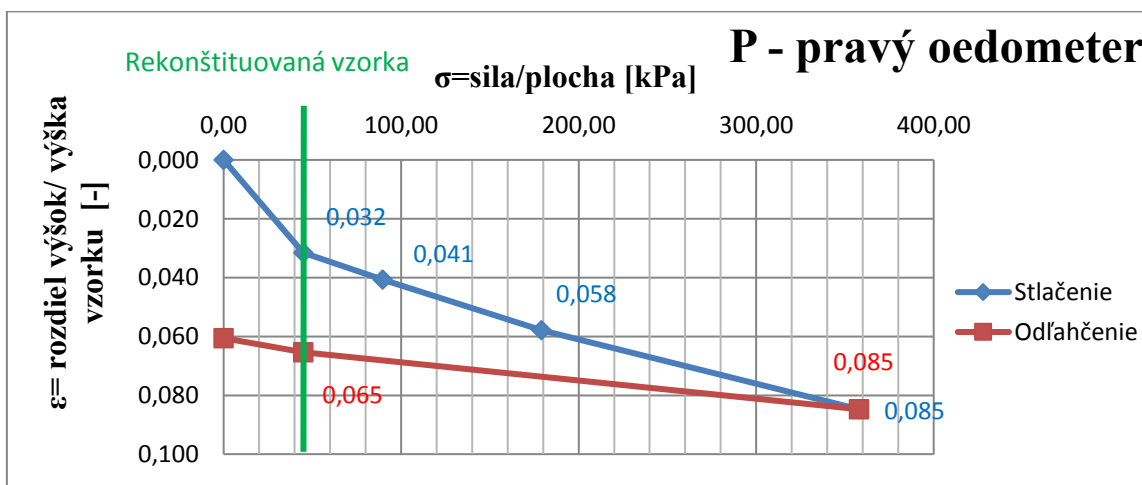
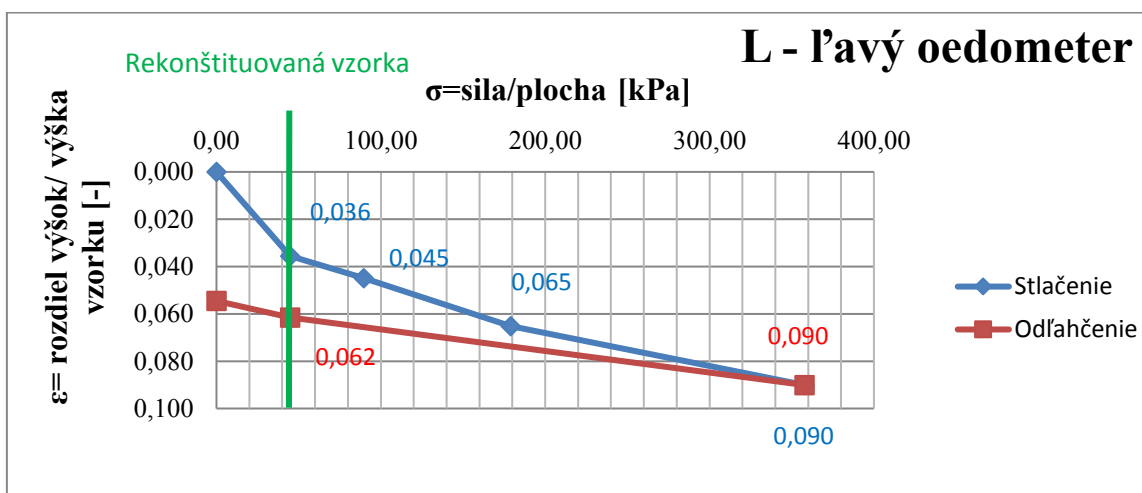
Vlhkosť pred a po oedometrickej skúške				
Doba skúšky	č. váženky	váženka [g]	váženka + vlhká zemina [g]	váženky + vysušená zemina [g]
Pred skúškou (gramáž) - vlhká zemina	93.	15,45	36,44	32,83
	94.	15,05	37,59	33,71
Po skúške (gramáž) - vysušená zemina	94.	15,05	43,23	38,84
	93.	15,45	32,25	29,64
	č. váženky	doba skúšky	zemina [g]	zemina [g]
Hmotnosť vlhkej zeminy : m	93.	Pred skúškou	20,99	
	94.		22,54	
	94.	Po skúške	28,18	
	93.		16,80	
Hmotnosť vysušenej zeminy : m_d	93.	Pred skúškou		17,38
	94.			18,66
	94.	Po skúške		23,79
	93.			14,19
Vlhkosť		Pred skúškou [%]	Po skúške [%]	
$w = ((m - m_d) / m_d) * 100$		20,77	18,45	
		20,79	18,39	
Priemer		20,78	18,42	

Vstupné hodnoty		
Výška vzorku		[m]
	h ₀	0,033
Polomer vzorku	r ₀	0,060
Plocha vzorku		[m ²]
	A ₀	0,011310
Objem vzorku		[m ³]
	V ₀	0,0004
Gravitačné zrýchlenie		[ms ⁻²]
	g	9,810

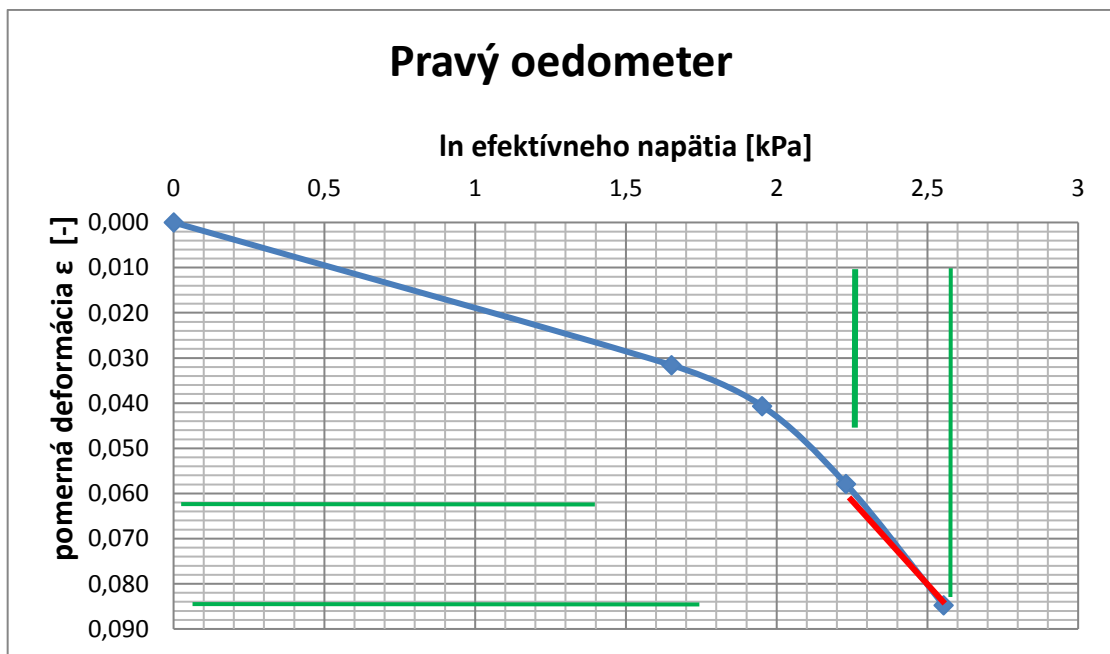
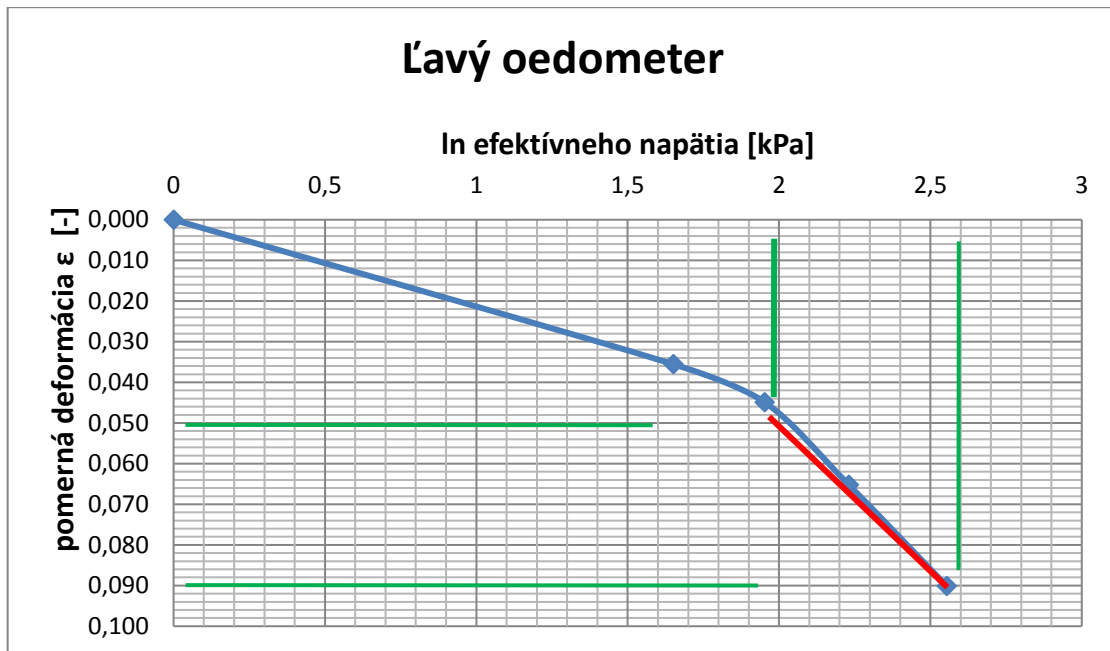
Hodnota konsolidačného napätia				
Stupne zaťaženia	[kg]	F [N]	F [kN]	σ [kPa]
0. stupeň	0	0,00	0,000	0,000
1. rekonstituovaná vzorka	5,16	506,196	0,506	44,758
2. stupeň zaťaženia + 5,16	10,32	1012,392	1,012	89,515
3. stupeň zaťaženia + 10,31	20,63	2023,803	2,024	178,943
4. stupeň zaťaženia + 20,62	41,25	4046,625	4,047	357,800
5. stupeň odťaženia (-36,09kg)	5,16	506,196	0,506	44,758

Výšky vzorku po zaťažovaní a odťažovaní procese		
Výšky vzorku počas oedometrickej skúšky	L	P
	[mm]	[mm]
Výška neporušeného vzorku	33	33
1. zaťažovací stav - rekonstituovaný (5,16kg) - rozdiel	1,17	1,04
Výška rekonstituovaného vzorku	31,82	31,95
2. zaťažovací stav (+5,16kg) - rozdiel	1,48	1,34
Výška stlačeného vzorku	31,52	31,65
3. zaťažovací stav (+10,31kg) - rozdiel	2,15	1,91
Výška stlačeného vzorku	30,84	31,08
4. zaťažovací stav (+20,62kg) - rozdiel	2,97	2,79
Výška stlačeného vzorku	30,02	30,20
5. odťažovací stav (-36,09kg) - rozdiel po celú dobu odťažovania	2,03	2,15
Výška vzorku po odťažení	30,96	30,84

Hodnota pomernej deformácie							
Ľavý oedometer		Pravý oedometer		Ľavý oedometer		Pravý oedometer	
Rozdiel výšky	[mm]	Rozdiel výšky	[mm]	Pomerná deformácia		Pomerná deformácia	
h	33,00	h	33,00				
Zaťaženie							
h_0.0	0,00	h_0.0	0,00	ε_0.0	0,000	ε_0.0	0,000
h_0.1	1,17	h_0.2	1,04	ε_0.1	0,036	ε_0.2	0,032
h_1.1	1,48	h_1.2	1,34	ε_1.1	0,045	ε_1.2	0,041
h_2.1	2,15	h_2.2	1,91	ε_2.1	0,065	ε_2.2	0,058
h_3.1	2,97	h_3.2	2,79	ε_3.1	0,090	ε_3.2	0,085
Odťaženie							
h_3.1	2,97	h_3.2	2,79	ε_3.1	0,090	ε_3.2	0,085
h_4.1	2,03	h_4.2	2,15	ε_4.1	0,062	ε_4.2	0,065



Grafy k určeniu súčiniteľa stlačiteľnosti C , pre výpočet je braný iba lineárny sklon krivky (červená úsečka), ktorý je ohraničený zelenými úsečkami.



P VI - Oedometrická skúška stlačiteľnosti : vlhkosť 2,48%; štandardná

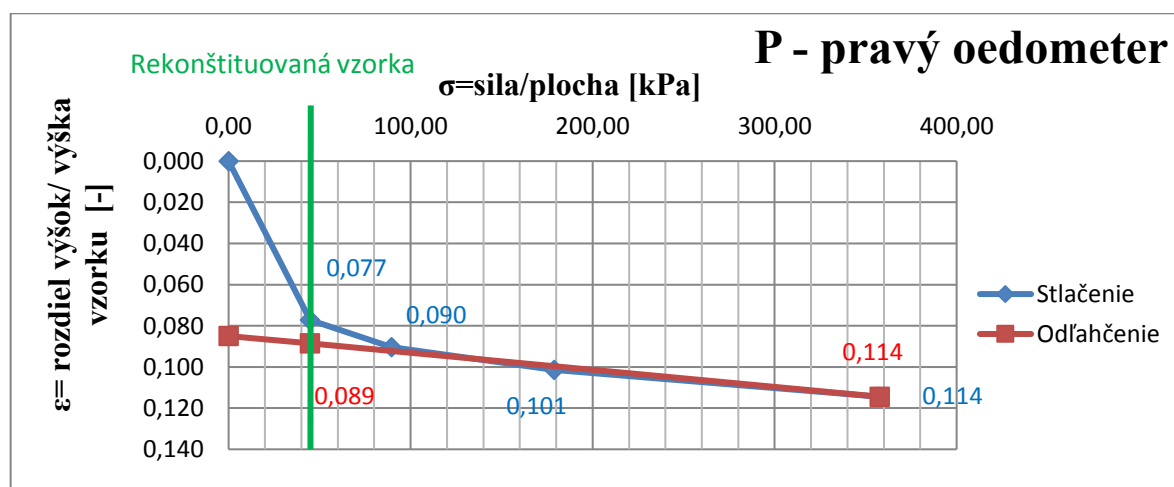
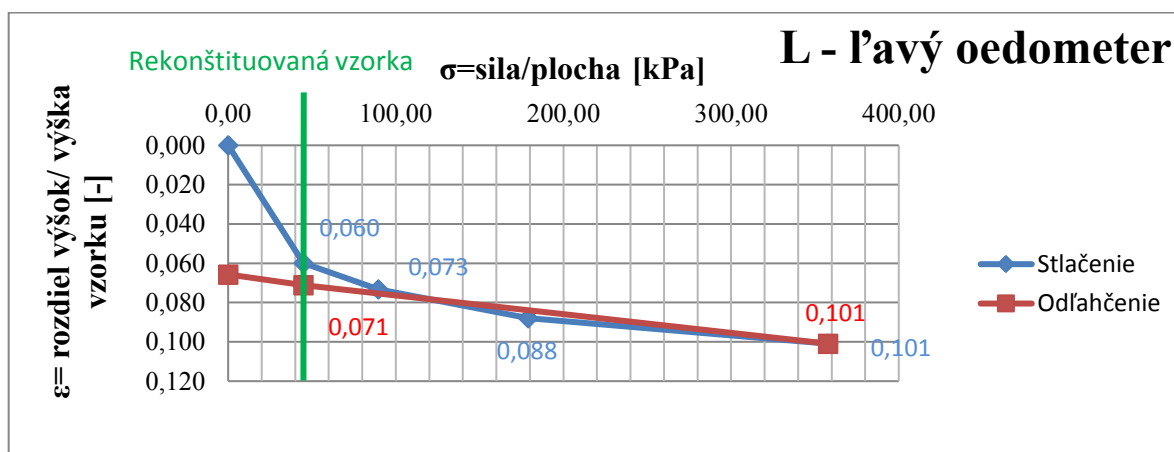
Vlhkosť pred a po oedometrickej skúške				
Doba skúšky	č. váženky	váženka [g]	váženka + vlhká zemina [g]	váženky + vysušená zemina [g]
Pred skúškou (gramáž) - vlhká zemina	93.	15,45	42,89	42,25
	94.	15,05	38,28	37,70
Po skúške (gramáž) - vysušená zemina	84.	15,04	32,53	31,22
	91.	14,98	33,93	32,65
	č. váženky	doba skúšky	zemina [g]	zemina [g]
Hmotnosť vlhkej zeminy : m	93.	Pred skúškou	27,440	
	94.		23,230	
	84.	Po skúške	17,490	
	91.		18,950	
Hmotnosť vysušenej zeminy : m_d	93.	Pred skúškou		26,800
	94.			22,650
	84.	Po skúške		16,180
	91.			17,670
Vlhkosť		Pred skúškou [%]	Po skúške [%]	
w = ((m-m_d)/m_d) * 100		2,388	8,096	
		2,561	7,244	
Priemer		2,474	7,670	

Vstupné hodnoty		
Výšk vzorku		[m]
	h ₀	0,032
Polomer vzorku		
	r ₀	0,060
Plocha vzorku		[m ²]
	A ₀	0,011310
Objem vzorku		[m ³]
	V ₀	0,0004
Gravitačné zrýchlenie		[ms ⁻²]
	g	9,810

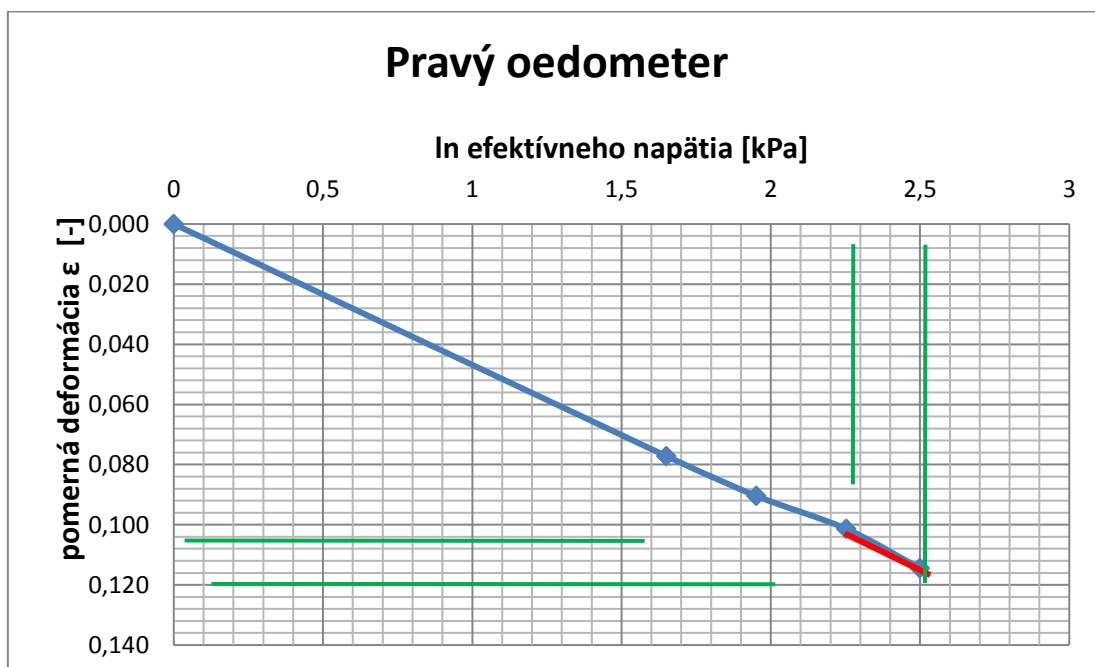
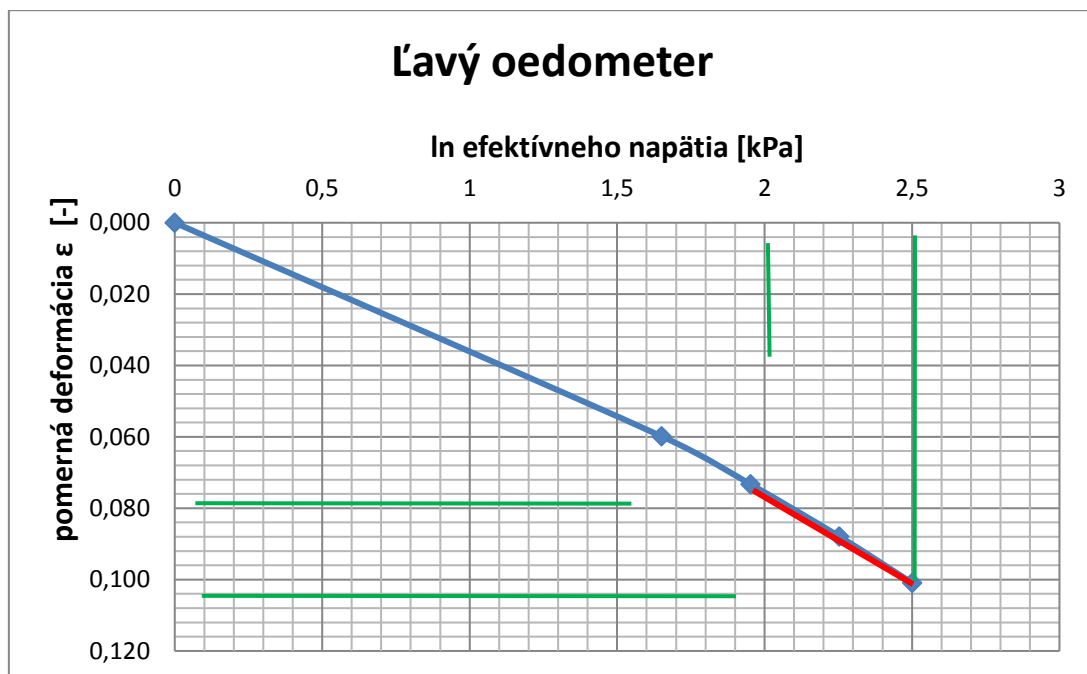
Hodnota konsolidačného napätia				
Stupne zaťaženia	[kg]	F [N]	F [kN]	σ [kPa]
0. stupeň	0	0,00	0,000	0,000
1. rekonstituovaná vzorka	5,16	506,162	0,506	44,758
2. stupeň zaťaženia + 5,16	10,32	1012,392	1,012	89,515
3. stupeň zaťaženia + 10,31	20,63	2023,803	2,024	178,943
4. stupeň zaťaženia + 20,62	41,25	4046,625	4,047	357,800
5. stupeň odťaženia (-36,09kg)	5,16	506,196	0,506	44,758

Výšky vzorku po zaťažovacom a odťažovacom procese		
Výšky vzorku počas oedometrickej skúšky	L	P
	[mm]	[mm]
Výška neporušeného vzorku	32	32
1. zaťažovací stav - rekonstituovaný (5,16kg) - rozdiel	1,91	2,47
Výška rekonstituovaného vzorku	30,08	29,52
2. zaťažovací stav (+5,16kg) - rozdiel	2,34	2,89
Výška stlačeného vzorku	29,65	29,10
3. zaťažovací stav (+10,31kg) - rozdiel	2,81	3,24
Výška stlačeného vzorku	29,18	28,75
4. zaťažovací stav (+20,62kg) - rozdiel	3,22	3,66
Výška stlačeného vzorku	28,77	28,33
5. odťažovací stav (-36,09kg) - rozdiel po celú dobu odťažovania	2,27	2,83
Výška vzorku po odťažení	29,72	29,16

Hodnota pomernej deformácie							
Ľavý oedometer		Pravý oedometer		Ľavý oedometer		Pravý oedometer	
Rozdiel výšky	[mm]	Rozdiel výšky	[mm]	Pomerná deformácia		Pomerná deformácia	
h	32,00	h	32,00				
Zaťaženie							
h_0.0	0,00	h_0.0	0,00	ε_0.0	0,000	ε_0.0	0,000
h_0.1	1,91	h_0.2	2,47	ε_0.1	0,060	ε_0.2	0,077
h_1.1	2,34	h_1.2	2,89	ε_1.1	0,073	ε_1.2	0,090
h_2.1	2,81	h_2.2	3,24	ε_2.1	0,088	ε_2.2	0,101
h_3.1	3,22	h_3.2	3,66	ε_3.1	0,101	ε_3.2	0,114
Odťaženie							
h_3.1	3,22	h_3.2	3,66	ε_3.1	0,101	ε_3.2	0,114
h_4.1	2,27	h_4.2	2,83	ε_4.1	0,071	ε_4.2	0,089



Grafy k určeniu súčiniteľa stlačiteľnosti C , pre výpočet je braný iba lineárny sklon krivky (červená úsečka), ktorý je ohraničený zelenými úsečkami



P VII - Oedometrická skúška stlačiteľnosti : vlhkosť 2,48%; zrýchlená

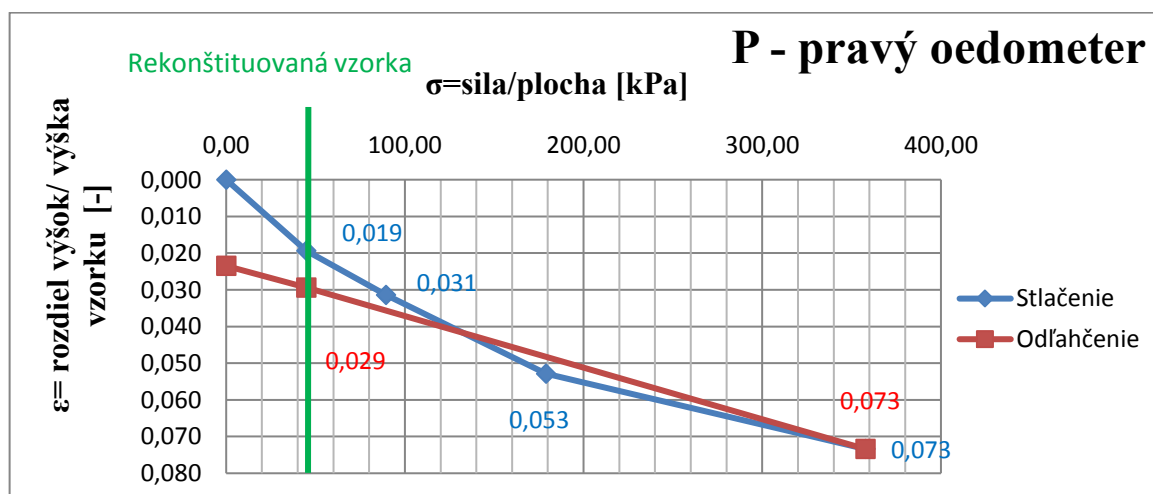
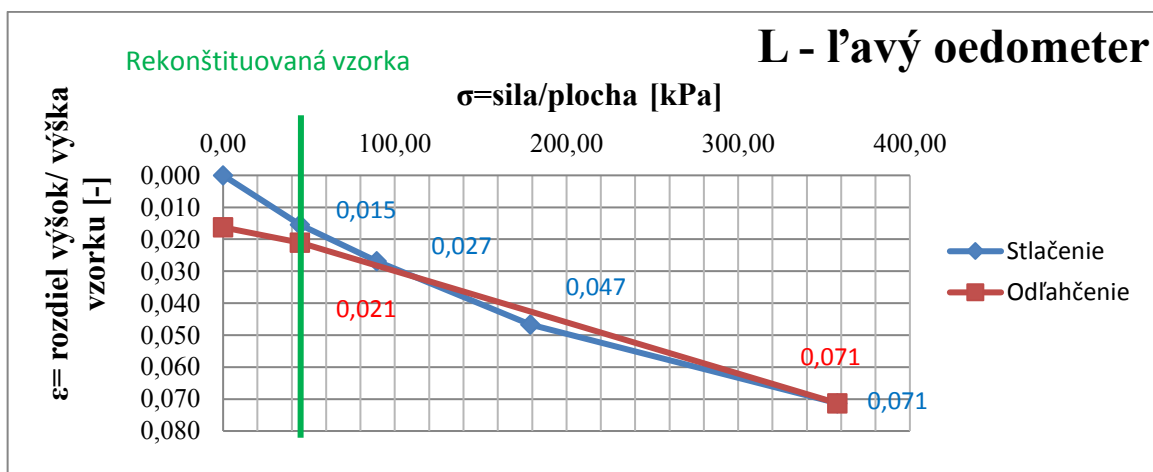
Vlhkosť pred a po oedometrickej skúške				
Doba skúšky	č. váženky	váženka [g]	váženka + vlhká zemina [g]	váženky + vysušená zemina [g]
Pred skúškou (gramáž) - vlhká zemina	91.	14,98	39,13	38,40
	93.	15,44	39,93	39,24
Po skúške (gramáž) - vysušená zemina	94.	14,99	37,77	37,23
	91.	15,04	40,09	39,47
	č. váženky	doba skúšky	zemina [g]	zemina [g]
Hmotnosť vlhkej zeminy : m	91.	Pred skúškou	24,15	
	93.		24,49	
	94.	Po skúške	22,78	
	91.		25,05	
Hmotnosť vysušenej zeminy : m_d	91.	Pred skúškou		23,42
	93.			23,80
	94.	Po skúške		22,24
	91.			24,43
Vlhkosť		Pred skúškou [%]	Po skúške [%]	
w = ((m-m_d)/m_d) * 100		3,11	2,42	
		2,89	2,53	
Priemer		3,00	2,48	

Vstupné hodnoty		
Výška vzorku		[m]
	h ₀	0,032
Polomer vzorku	r ₀	0,060
Plocha vzorku		[m ²]
	A ₀	0,011310
Objem vzorku		[m ³]
	V ₀	0,0004
Gravitačné zrýchlenie		[ms ⁻²]
	g	9,810

Hodnota konsolidačného napätia				
Stupne zaťaženia	[kg]	F [N]	F [kN]	σ [kPa]
0. stupeň	0	0,00	0,000	0,000
1. rekonstituovaná vzorka	5,16	506,196	0,506	44,758
2. stupeň zaťaženia + 5,16	10,32	1012,392	1,012	89,515
3. stupeň zaťaženia + 10,31	20,63	2023,803	2,024	178,943
4. stupeň zaťaženia + 20,62	41,25	4046,625	4,047	357,800
5. stupeň odťaženia (-36,09kg)	5,16	506,196	0,506	44,758

Výšky vzorku po zaťažovaní a odťažovaní procese		
Výšky vzorku počas oedometrickej skúšky	L	P
	[mm]	[mm]
Výška neporušeného vzorku	32	32
1. zaťažovací stav - rekonstituovaný (5,16kg) - rozdiel	0,49	0,61
Výška rekonstituovaného vzorku	31,50	31,38
2. zaťažovací stav (+5,16kg) - rozdiel	0,86	1,00
Výška stlačeného vzorku	31,14	30,99
3. zaťažovací stav (+10,31kg) - rozdiel	1,49	1,69
Výška stlačeného vzorku	30,50	30,30
4. zaťažovací stav (+20,62kg) - rozdiel	2,28	2,34
Výška stlačeného vzorku	29,71	29,65
5. odťažovací stav (-36,09kg) - rozdiel po celú dobu odťažovania	0,67	0,94
Výška vzorku po odťažení	31,32	31,05

Hodnota pomernej deformácie							
Ľavý oedometer		Pravý oedometer		Ľavý oedometer		Pravý oedometer	
Rozdiel výšky	[mm]	Rozdiel výšky	[mm]	Pomerná deformácia		Pomerná deformácia	
h	32,000	h	32,000				
Zaťaženie							
h_0.0	0,000	h_0.0	0,000	ε_0.0	0,000	ε_0.0	0,000
h_0.1	0,494	h_0.2	0,619	ε_0.1	0,015	ε_0.2	0,019
h_1.1	0,860	h_1.2	1,005	ε_1.1	0,027	ε_1.2	0,031
h_2.1	1,495	h_2.2	1,692	ε_2.1	0,047	ε_2.2	0,053
h_3.1	2,282	h_3.2	2,349	ε_3.1	0,071	ε_3.2	0,073
Odťaženie							
h_3.1	2,282	h_3.2	2,349	ε_3.1	0,071	ε_3.2	0,073
h_4.1	0,673	h_4.2	0,941	ε_4.1	0,021	ε_4.2	0,029



Grafy k určeniu súčiniteľa stlačiteľnosti C , pre výpočet je braný iba lineárny sklon krivky (červená úsečka), ktorý je ohraničený zelenými úsečkami

